

TENKOSTĚNNÉ TKANÉ STRUKTURY VYUŽÍVANÉ JAKO SYNTETICKÉ CÉVNÍ PROTÉZY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 - Oděvní a textilní technologie
Autor práce: **Bc. Kamila Jiřenová**
Vedoucí práce: Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.



THIN-WALLED WOVEN STRUCTURE USED AS SYNTETIC VASCULAR PROSTHESES

DIPLOMA THESIS

Study programme: N3106 Textile Engineering
Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Engineering
Author: **Bc. Kamila Jiřenová**
Supervisor: Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.



Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem. Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 14.5. 2015

Podpis:



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kamila Jiřenová**
Osobní číslo: **T13000074**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Tenkostěnné tkané struktury využívané jako syntetické cévní
protézy**
Zadávající katedra: **Katedra textilních technologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Popište základní parametry definující plošnou a prostorovou geometrii tkanin.
2. Proveďte rešerši v problematice zaměřené na syntetické cévní protézy - grafty, včetně rozboru jejich základních vlastností.
3. Navrhněte konstrukční řešení plošné tenkostěnné tkané struktury s možností její aplikace v cévních protézách.
4. Proveďte experimentální hodnocení vybraných vlastností tkané struktury.
5. Na základě teoretických modelů u vybraných vlastností proveďte porovnání s experimentálními hodnotami.
6. Na základě výsledku navrhněte možný způsob hodnocení tkaných struktur aplikovaných v cévních protézách.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


- [1] Nosek, S.: Struktura a geometrie tkanin, Liberec 1996.
- [2] Kovář, R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií.
- [3] Kolčavová Sirková, B.: Systém projektování "příze - tkanina". Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci 2004.
- [4] Kolčavová Sirková, B.: Vybrané partie ze struktury tkanin, Výukové materiály, FT, TUL 2002.
- [5] Behera, B.K., Hari, P.K.: Woven textile structure, Theory and applications, Woodhead Publishing Limited, ISBN 978-1-84569-514-9 (book), 2010.
- [6] Neckář, B.: Fabric 2 - Models and geometry, textbook, Liberec.
- [7] Bednář V., Svatoš S.: Vazby a rozборы tkanin II, SNTL, Praha 1980.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.**
Katedra textilních technologií

Datum zadání diplomové práce: **20. dubna 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2015**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 4. května 2015

Poděkování

Tímto děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Brigitě Kolčavové Sirkové, Ph.D. za konzultace, cenné rady, podněty a připomínky při zpracování této zajímavé diplomové práce.

Mé poděkování patří také všem ostatním, zejména členům katedry textilních technologií, u kterých jsem hledala radu a pomoc.

Také děkuji své rodině a svým blízkým, kteří mě vždy podporovali při mém studiu, byli mi oporou a měli pro mě pochopení při psaní diplomové práce.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá návrhem optimální konstrukce tkaniny, jež svými vlastnostmi bude splňovat podmínky pro vytvoření plnohodnotné cévní náhrady.

V rámci teoretické části bude pojednáno o uplatnění plošné tkaniny ve filtraci, a použití prostorové struktury v klinickém prostředí na cévní protězy. Dále bude popsána struktura tkaniny a to z hlediska plošné a prostorové geometrie.

V experimentální části bude popsán referenční graft, a definován vliv struktury a konstrukce na jeho výsledné vlastnosti. Navržené a vytkané konstrukce tkaniny budou testovány na splnění podmínek dané normou a následně porovnány s výsledky testování referenčního graftu.

KLÍČOVÁ SLOVA: Cévní protěza, struktura tkaniny, tloušťka, porosita, propustnost.

ANNOTATION

This diploma thesis describes the design of an optimal construction of fabrics which with its properties will satisfy the conditions for a full-vascular graft.

The theoretical part focuses on the application of planar fabrics during filtration and the usage of spatial structure in a clinical setting to the vascular graft. The structure of fabrics will also be described, mainly the planar and spatial geometry.

In the experimental part, the reference graft will be delineated, and the influence of the structure and construction on its final quality will be defined. Designed and woven constructions of fabric will be tested for compliance with the conditions prescribed by the standard, and then compared with the results of testing according to the reference graft.

KEY WORDS: Vascular graft, fabric structure, thickness, porosity, water permeability.

Obsah

Cíle práce	10
REŠERŠNÍ ČÁST.....	11
1. Textilní membrány	11
1.1 2D textilní útvary- filtry	11
1.1.1 Povrchová a hloubková filtrace	11
1.1.1.1 Vzduchová a kapalinová filtrace	12
1.2.2 Vlastnosti ovlivňující výkon filtračního procesu.....	12
1.2 3D textilní útvary- tenkostěnné cévní protézy	14
1.2.1 Cévní protézy - grafty	14
1.2.2 Vlastnosti graftu.....	15
1.2.3 Použití graftu	16
1.3.1 Stent	16
1.4.1 Stentgraft.....	17
1.4.1.1 Zavádění stentgraftu	17
2. Základní charakteristika textilní membrány z hlediska struktury.....	18
2.1 Struktura tkaniny	18
2.1.1 Základní charakteristika vstupního materiálu.....	18
1.1 Tvarování multifilu	18
1.2 Jemnost.....	19
1.3 Zaplnění.....	19
1.4 Substanční a efektivní průměr.....	20
1.5 Zákrut	21
2.2 Vazební techniky.....	24
2.2.1 Dutinné tkaniny	25
3. Analýza vybraných vlastností textilní membrány	27
3.1 Plošná hmotnost membrány	27
3.1.1 Teoretické zjištění plošné hmotnosti membrány	27
3.1.2 Experimentální zjištění plošné hmotnosti membrány.....	27
3.2 Tloušťka membrány	28
3.2.1 Teoretické zjištění tloušťky	28
3.2.2 Experimentální zjištění tloušťky.....	28
3.3 Plošné zakrytí.....	28

3.3.1 Teoretické zjištění plošného zakrytí	28
3.2.1 Experimentální zjištění plošného zakrytí.....	29
3.4 Objemová porosita	30
3.4.1 Teoretické zjištění objemové porosity	30
3.2.1 Experimentální zjištění objemové porosity	30
3.5 Mechanické vlastnosti v jednoosém namáhání	31
3.6 Propustnost tekutin.....	31
3.7 In vitro testování- Kultivace 3T3 myšími fibroblasty.....	32
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	33
4. Základní parametry a konstrukce membrány	34
4.1 Parametry multifilu	34
4.1.1 Jednoosé namáhání	35
4.2 Proces tkání	36
4.2.1 Snování	36
4.2.2 Navádění a tkání	36
4.3.3 Fixace.....	41
5. Zhodnocení vybraných vlastností textilní membrány na základě experimentálních a teoretických metod.....	42
5.1 Plošná hmotnost membrány	46
5.2 Tloušťka membrány	47
5.3 Plošné zakrytí	50
5.4 Objemová porosita	53
5.5 Jednoosé namáhání – pevnost a tažnost	55
5.6 Stanovení propustnosti membrány pro tekutiny	57
5.7 Kultivace membrány 3T3 myšími fibroblasty	60
5.8 Celkové zhodnocení	64
Závěr	66
Literatura	68
Seznam obrázků	70
Seznam tabulek	72
Seznam příloh.....	72
PŘÍLOHOVÁ ČÁST	73

Úvod

Cévní náhrada byla poprvé použita již koncem 19. století, jednalo se o transplantace prováděné na zvířatech. První implantovaná graft do lidského těla je datován ze začátku 20. století. Jednalo se o provedení bypassu stehenního aneurysmatu, neboli přemostění výdutě stehenní tepny. Největší rozmach zaznamenaly vaskulární grafty v období po 2. světové válce.

Vaskulárním onemocněním trpí ve světě miliony lidí. Zúžení cévního řečiště je způsobeno především aterosklerózou (kornatěním) cévní stěny, či diabetem (cukrovkou), většinou se jedná o nevratné poškození cév. V případě, že krev nemůže správně protékat, dochází k mozkovým mrtvicím, či selhání srdce. Léčba se provádí pomocí stentů, které udržují průsvit a průchodnost zúžených cév. Naopak výduť tepny vzniká oslabení pružnosti cévy v důsledku kouření, nezdravého životního stylu, či dědičnou dispozicí. Výduť se tvoří dlouhodobě, avšak při jejím prasknutí je otázka přežití pouze několik minut. Díky moderním technologiím, lze tato onemocnění včas odhalit. Stentgraft se používají k léčbě aneurysmat, dochází k přemostění poškozené cévy, která již není namáhána a po delším čase se vrací do původního stavu.

V dnešní době se nejvíce používají pletené grafty. Tkané cévní protézy byly kvůli svým nedostatkům, jež budou popsány dále v této práci, odstaveny stranou. Snahou diplomové práce je vytvořit konkurenci schopný tkaný graft, jež bude vycházet ze znalosti kladných i záporných vlastností klinicky používaných tkaných graftů.

Cíle práce

Smyslem této diplomové práce bylo navrhnout konstrukční řešení a následné vytváření textilní struktury, tak aby svými charakterem odpovídala co nejvíce požadovaným vlastnostem lidské cévy. Optimálnost struktury otestovat pomocí vybraných mechanických a užitných vlastností- plošná hmotnost, tloušťka, plošné zakrytí, objemová porositá, pevnost a tažnost, propustnost tekutin a schopnost viability buněk na textilní membráně.

Dalším úkolem bylo porovnání experimentálně zjištěných hodnot s výsledky stanovenými na základě výpočtu teoretických modelů. Posledním cílem pak bylo na základě výsledků navrhnout možný způsob hodnocení tkaných struktur určených na aplikaci v cévních protézách.

REŠERŠNÍ ČÁST

1. Textilní membrány

Technologií tkaní lze vyrobit, jak plošnou, tak prostorovou strukturu. Tato práce pojednává především o cévních náhradách tzv. graftech. Při testování tkanin určených jako předloha pro grafty, byl také zjištěn jejich velký potenciál k využití v oblasti filtrace. V této práci bude pro plošnou i prostorovou strukturu, používán souhrnný název- textilní membrána.

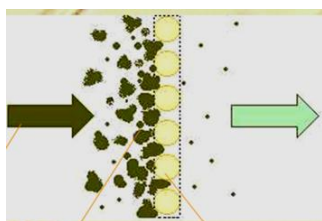
1.1 2D textilní útvary- filtry

Filtry jsou porézní plošné útvary vyrobené jako tkané, či netkané textilie. Filtry se primárně používají k filtraci, při které dochází k separování rozptýlených pevných částic nečistoty z disperzního plynného či kapalného prostředí [7].

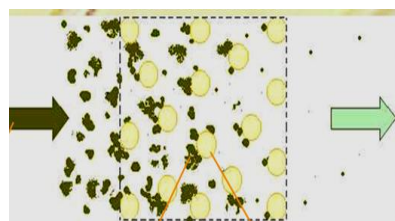
1.1.1 Povrchová a hloubková filtrace

Filtraci lze rozlišovat dle velikosti zachycených částic, na povrchovou a hloubkovou. V případě **povrchové filtrace** (obr. 1) dochází k zachycení částic, jež jsou větší než prostor mezi vlákny filtru. Této separaci částic se říká tzv. síťový jev. Částice zachycené na povrchu filtru se nazývají filtrační koláč. Efektivita povrchových filtrů je tedy přímo závislá na velikosti pórů textilní membrány. Vrstva zvaná filtrační koláč je důležitá zejména pro čistitelné filtry.

Hloubková filtrace (obr. 2) je charakteristická zachycením částic, jež jsou řádově menší než prostor mezi vlákny. Dochází tedy k oddělování větších částic nečistoty, jež zůstávají na povrchu, a menších částic, které procházejí filtrem a ulpívají ve filtrátu. To je možné díky tzv. mechanismům hloubkové filtrace [6,7].



Obr. 1: Zachycení nečistot při plošné filtraci



Obr. 2: Zachycení nečistot při hloubkové filtraci

Mezi mechanismy hloubkové filtrace patří čtyři základní principy: přímý, setrvačný, difúzní a elektrostatický záchyt.

Přímý záchyt nečistot nastává v případě pasivního chování částic, kdy nejsou ovlivněny rychlostí ani směrem proudícího vzduchu. K zachycení částice dojde, pouze v bezprostřední blízkosti vláken.

Setrvačný záchyt označuje rychlý pohyb velkých částic, které nekopírují trajektorii pohybu disperzního prostředí a následně narážejí na povrch vláken filtru.

Difúzní záchyt je definován nahodilým pohybem menších částic, jež difundují k povrchu vláken. Čím je částice a rychlost proudění menší, tím dochází k lepšímu zachycení.

Elektrostatický záchyt je charakterizován změnou trajektorie pohybu částice vlivem působení přitažlivých sil daných nábojem na povrchu vlákna a zachytávané částice [6,7].

1.1.1.1 Vzduchová a kapalinová filtrace

Vzhledem k rozdílné viskozitě disperzního prostředí (kapalina, vzduch) dochází k uplatnění jiných filtračních mechanismů.

Pro **kapalinovou filtraci** se častěji uplatňuje síťový efekt vyvolaný povrchovou filtrací. Mechanismy hloubkové filtrace jsou zde z velké části potlačeny silou proudící kapaliny, jejich využití je možné v oblasti nižší rychlosti toku kapaliny. Kapalinové filtry se využívají především pro filtraci paliva, oleje, či brzdné kapaliny dopravních prostředků. Filtry používané pro kapalinovou filtraci musí vykazovat vysokou odolnost vůči mechanickému namáhání, zejména pak vůči působení sil vyvolaných proudící kapalinou. V případě filtru s nízkou odolností může dojít k protržení, poté klesá jeho účinnost a efektivita zachytu nečistot.

V případě **vzduchové filtrace** se obecně uplatňuje jak povrchový, tak hloubkový způsob separace nečistot. Zda se bude jednat o filtraci povrchovou, či hloubkovou se určuje dle velikosti částic a rychlosti jejich pohybu. Vzduchové filtry se nejčastěji používají pro klimatizaci aut, filtry spalín, či do vysavačů [6,7].

1.2.2 Vlastnosti ovlivňující výkon filtračního procesu

Během procesu filtrace dochází k zanášení a ucpávání pórů filtru. Nečistota se stává součástí filtrační struktury. S vyšším obsahem nečistot ve filtru, stoupá jeho efektivita, tlakový spád a klesá permeabilita. Při nadlimitním zanášení filtru, rapidně klesá jeho životnost a může dojít k protržení porézní membrány [6].

Efektivita záchytu E [%] vyjadřuje podíl nečistot, jež jsou při filtraci zachyceny uvnitř, či na povrchu filtru G_2 [g], a které projdou skrz porézní strukturu G_1 [g].

$$E = \left(1 - \frac{G_1}{G_2}\right) * 100 \quad (1)$$

Tlakový spád vyjadřuje odpor porézní struktury kladený disperznímu prostředí (kapalině, plynu). Tlakový spád Δp [Pa] je definován jako rozdíl tlaku před filtrem p_1 [Pa] a za filtrem p_2 [Pa].

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (2)$$

Tlakový spád se mění v průběhu procesu filtrace v důsledku zanášení filtru zachycenými částicemi. Jeho růstem je obvykle dána životnost filtru – buď naroste do hodnoty, kdy již není možné požadovaný objem disperzního prostředí transportovat skrz filtr, nebo dojde k poškození filtru, případně poklesu efektivity

Čím vyšší je hodnota tlakového spádu, tedy odporu filtru. Tím menší je jeho propustnost neboli permeabilita.

Permeabilita vyjadřuje míru propustnosti filtračního materiálu pro disperzní prostředí.

$$K = \frac{Q}{A * \Delta p} \quad (3)$$

Kde K [m/Pa/sec] je permeabilita, Q [m³/s] je průtok, A [m²] je plocha vrstvy nečistot, kolmá ke směru toku, Δp [Pa] je tlaková ztráta

Posledním nezanedbatelným faktorem ovlivňující filtrační schopnosti porézní membrány, je velikost pórů. Poróznost lze měřit pomocí obrazové analýzy, kde lze definovat velikost i tvar pórů, nebo také bublinkovou metodou. Filtr je ponořen do tekutiny a na jeho spodní stranu se podtlakem vhání vzduch, až dojde k vytvoření bublin na horní straně filtru, následně se měří jejich velikost a tvar.

Filtry se vyrábějí pro různá průmyslová odvětví v mnoha velikostech a tvarech. Nejčastěji se filtry vyrábějí jako plošná membrány s využitím na filtry ploché, skládané, kapsové, patronové – svíčkové. Textilie okrouhlého tvaru se pak využívá na rukávové filtry [6].

1.2 3D textilní útvary- tenkostěnné cévní protézy

Termín cévní náhrada se používá pro označení samostatného útvaru, který je implantován do cévního řečiště, s cílem obnovit jeho funkci. Při léčbě cévních onemocnění, je prioritou provést náhradu poškozené, či nefunkční cévy pomocí vlastní tkáně pacienta. Tímto způsobem se například postupuje u operací srdečních bypassů (přemostění), kdy se k přemostění používá céva z lýtku. V případě, že biologická céva není pro použití vhodná, přikročí se k použití umělé cévní protézy tzv. graftu [11,13].

1.2.1 Cévní protézy - grafty

Cílem umělé cévní náhrady je svými vlastnostmi, co nejlépe napodobit cévu biologickou. Grafty se nejčastěji vyrábějí z polyesteru či polytetrafluoretylénu (PTFE), dalšími méně používanými materiály jsou různé polyuretany. Jsou také snahy o rozšíření trhu o nové materiály. Ty však musí projít velmi přísnými testy, především na toxicitu a kancerogenitu v lidském organismu. Nezbytností jsou také výborné mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu. Jistou oblibu si získalo povrstvování graftu stříbrem, které má antibakteriální účinky a používá se jako prevence vzniku infekce.

V současné době se v klinickém prostředí využívají tři základní typy umělých cévních náhrad, jež se liší technologií výroby, a tím i svými vlastnostmi [11,18].

Lité grafty

Zástupcem první skupiny jsou grafty z expandovaného polytetrafluoretylénu (PTFE), tzv. lité cévní protézy (obr. 3). Grafty vyrobené touto technologií vykazují nulovou poróznost. Mají malou odolnost vůči tlaku, vyvolaného proudící krví, uvnitř cévního řečiště. Používají se v oblasti malo-průměrových cév s nižším průtokem krve [11].



Obr. 3: Litá cévní náhrada

Pletené grafty

Pletené grafty (obr. 4) se vyrábějí zátažnou, či osnovní technologií. Pro pletení se nejčastěji používá polyesterový multifil. Zátažné cévní náhrady se vyrábějí na malopřůměrových okrouhlých stávcích, osnovní pak na dvoulůžkových pletacích strojích. Stěna pleteného graftu je velmi porézní, což může vést k prosakování krve, je tedy před aplikací do cévního řečiště impregnovaná kolagenem, či želatinou. Pletené cévní protézy se vyznačují vysokou elasticitou a tažností [11,18]



Obr. 4: Pletený graft

Tkané grafty

Tkané protézy se vyrábějí na tkacím stavu, jako dutinná tkanina s jednoduchou plátňovou vazbou. Nejčastěji používaným materiálem je polyester.

Tkané cévní protézy mají nejmenší tloušťku stěny, také jsou velice pevné a málo porézní. Jejich nízká poróznost, zamezuje prosakování krve skrz stěnu graftu, ve většině případů pak není třeba graft před implantací povrstvovat kolagen, či želatinou. Malý počet pórů způsobuje problém pro uchycení buněk, což má za následek horší porůstání protézy a její vhojování do organismu. Další negativem je vysoká tuhost a nízká elasticita graftů. Dříve se také řešil problém s třepením okrajů protézy, který byl zapříčiněn stříháním graftu nůžkami. Dnes se jednotlivé grafty oddělují vysoce přesným laserem, kde zároveň dochází k mírnému natavení okraje a tím se zamezí jeho třepení [11,18].

1.2.2 Vlastnosti graftu

Vlastnosti, které musí klinicky používaný graft splňovat, jsou popsány v normě ISO 7198:1988 *Cardio vascular implants –Tubular vascular prostheses*.

Jedná se zejména o nulovou toxicitu a kancerogenitu graftu. Jeho vysokou elasticitu a příčnou tažnost, která je důležitá při zavádění stentgraftu. Cévní protéza musí mít vysokou pevnost a tvarovou stálost, tak aby odolávala vysokému tlaku proudící krve. Důležitá je optimální hodnota plošné a objemové porosity. Tloušťka stěny graftu a jeho propustnost pro kapaliny se musí pohybovat do určité maximální hodnoty. Posledním

neméně důležitým požadavkem je vytvořit optimální prostředí pro uchycení a množení buněk vazivové tkáně [8].

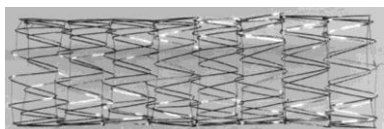
1.2.3 Použití graftu

Pletené a tkané grafty se nejčastěji využívají v oblasti velko-průměrových cév, na rekonstrukci hrudní a břišní aorty, či stehenních tepen. Jedná se o centrální tepny, s nejvyšším průtokem krve. S tím je spojené jisté riziko, může nastat zploštění cévní náhrady a následnému zablokování krevního oběhu. Zploštění může být zapříčiněno průhybem, či stlačením graftu okolní tkání. Je tedy vhodné použít výztuhu cévní náhrady tzv. stent, která zvyšuje odolnost vůči kompresnímu (tlakovému) namáhání [13,18].

1.3.1 Stent

Stent může být celokovový (obr. 5) z nerez oceli, či plastový (obr. 6), jež plní funkci podpůrné konstrukce, která se ručním všíváním upevní na graft. Spojením graftu a stentu vzniká tzv. stentgraft (obr. 7).

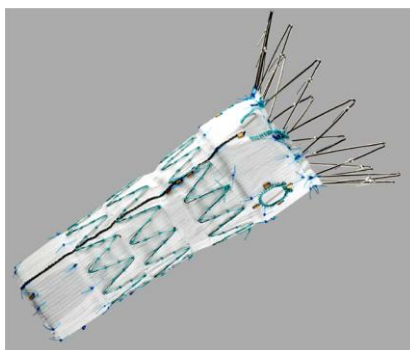
Stenty se využívají také samostatně, k udržení průsvitu a průchodnosti zúžených cév. Může se jednat o stenty které se časem rozloží, tedy degradabilní, nebo takové, které se po obnovení funkce cévy opět vyjmou. Stent musí vykazovat vysokou elasticitu v případě zavádění stentu (dilataci), ale také dostatečnou tuhost pro mechanickou stabilizaci poškozené cévy [11].



Obr. 5: Kovový stent



Obr. 6: Plastový stent



Obr. 7: Stentgraft

1.4.1 Stentgraft

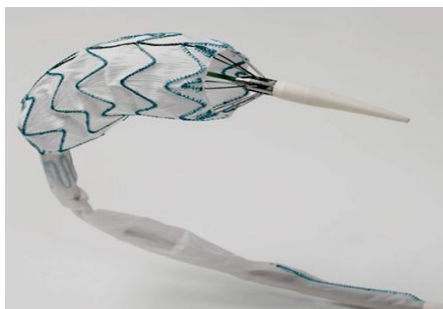
Stentgraft, nebo také endovaskulární protéza je tedy kombinací stentu a tenkostěnné syntetické cévní náhrady vyrobené z polyesteru, či polytetrafluoretylénu. Stentgrafty se implantují v oblasti velko-průměrových cév, tedy břišní a hrudní aorty a stehenní tepny. Využívají se předně k léčbě aortální výduti stěny tepny, tzv. aneurysma [3].

1.4.1.1 Zavádění stentgraftu

Implantace stentgraftu do poškozeného cévního řečiště se provádí: buď pomocí balónkového katétru- tzv. katetrizační cestou pomocí techniky známé jako koronární angioplastika, či pomocí tenké trubičky, tzv. dilatátoru, jež se zavádí chirurgickou cestou. Jedná o kompresi stentgraftu do nejmenší možného válcovitého tvaru a následně buď vsunutí do tenké trubičky dilatátoru, či nasunutí na trubičku se složeným balónkem. Čím menší je komprimovaný tvar stentgraftu, tím menší může být zavaděč, a tím pádem méně invazivní přístup do těla pacienta.

Před implantací stentgraftu, je třeba do žíly pacienta vstříknout kontrastní látku. Pro přístup katétru do cévního řečiště, se nejčastěji volí pravá stehenní tepna, kde se v oblasti třísla provede velmi malý řez, do něhož je katétr postupně vsouván a skrz stehenní tepnu a následně břišní aortu dopravován na místo operace. Přesná poloha zavaděče je zobrazována pomocí monitoru, na němž je jeho posun vidět díky kontrastní látce.

V místě přemostění (bypassu), či náhrady poškozené cévy dochází k vysouvání stentgraftu z dilatátoru (obr. 8), v případě balónkového katétru dochází k postupnému nafukování balónku a obnovení původního tvaru stentgraftu. V aortě je stentgraft v místě nad a pod vakem výdute ukotven ve zdravé části tepny (obr. 9). Po umístění cévního implantátu je zavaděč několik hodin ponechán v cévním řečišti a poté vyjmut. Bezprostředně po vyjmutí musí být tepna v místě řezu na několik minut manuálně stlačena, poté je na 8-10 hodin obvázána kompresním obvazem. Po uplynutí této doby dochází k uzavření porušeného místa na tepně. [2,3].



Obr. 8: Dilatace stentgraftu



Obr. 9: Ukotvení stentgraftu v místě aortální výdute

2. Základní charakteristika textilní membrány z hlediska struktury

Tkanina je plošná textilie vytvořena provázáním dvou, či více soustav nití, které jsou vzájemně na sebe kolmé. Tyto soustavy se nazývají osnova a útek. Osnova je podélná soustava nití rovnoběžných s kraji tkaniny. Útky se ukládají příčně, jsou kolmé na osnovní nitě. Vzájemnému provázání osnovních a útkových nití se říká vazba tkaniny. Nejmenší úsek provázání, tedy překřížení jedné osnovní a útkové niti, se nazývá vazný bod. Vazné body, nebo také vazné buňky se rozdělují na osnovní a útkové. Tyto body tvoří střidu vazby. Podle počtu osnovních a útkových nití lze charakterizovat velikost střidy. Následnému opakování vzoru střidy se říká vazba po střidě [17].

2.1 Struktura tkaniny

Pojem struktura tkaniny se často používá pro vyjádření jejích geometrických vlastností. Rozlišuje se plošná a prostorová geometrie:

➤ Plošná geometrie

Je charakterizována souborem údajů, které definuje desinátér. Mezi tyto údaje patří [16]:

- Vstupní materiál: - tvarování a jemnost příze
 - zaplnění a průměr příze
 - zákrut příze

2.1.1 Základní charakteristika vstupního materiálu

Obecně lze tvrdit, že délková textilie je útvar, jehož délka výrazně překračuje šířku a výšku. Délkové textilie jsou základem každé tkaniny a pleteniny, či netkané textilie. Názvy délkových textilií jsou často odvozené od technologie jejich výroby.

Multifilament, zkráceně multifil je délkový vlákenný útvar, vyrobený chemickou cestou, který se skládá nejméně ze dvou nekonečně dlouhých monofilových fibril.

1.1 Tvarování multifilu

Pro další zpracování mohou být původní rovné fibrily nevhodné, proto se mohou dále tvarovat. Díky tvarování bude mít výsledný multifilament obecně větší tažnost a bude dosaženo větší objemnosti. Fyzikální vlastnosti textilie jsou ovlivněny také stupněm zkadeření jednotlivých vláken, směrovým uspořádáním os přízí a jejich průměrem.

kadeření se dociluje kombinací tepelného a mechanického působení. Kromě usnadnění zpracování to přináší i změnu průběhu tahové křivky- zvyšuje se tažnost [13,17]

Princip **tvárování nepravým zákrutem** spočívá v tom, že je podávanému multifilamentu udělován v určité oblasti pomocí krutného elementu požadovaný počet zákrutů. Multifil je zároveň tepelně fixován. Na výstupní straně krutného ústrojí, dochází k udělování zákrutu opačného směru, čímž nastává rozkrucování hedvábí. Původní zákrut je anulován a jednotlivá vlákna jsou opět paralelně uložena vedle sebe.

Tepelnou fixací nastala trvalá deformace tvaru multifilu, daného nepravým zákrutem. Při opouštění krutného elementu se hedvábí snaží do tohoto stavu vrátit, čímž dochází ke vzniku tvarovaného neboli zobloučkovaného hedvábí [17].

Při **tvárování zvířeným vzduchem** dochází k rozvolnění multifilamentu na jednotlivé elementární fibrily a jejich deformaci do smyček, jež svým vzhledem mohou připomínat uzlíky.

Turbulentní proudění vzduchu s sebou strhne podávané lehce předeprnuté hedvábí a vrhá je na rozhazovou plochu, kde vzniklý vzdušný vír rozvolní multifil na jednotlivé filameny a vytvoří na nich smyčky. Tím nastává zkrácení tohoto útvaru a jeho zobjemnění, dosaženému pomocí obloučků a smyček. Výsledný multifilament má vyšší soudržnost a může být bez dalšího zakrucování použit k textilnímu zpracování [17].

1.2 Jemnost

Jemnost (délková hmotnost) příze T [tex] vyjadřuje podíl mezi hmotností m [g] a délkou l [km]. Lze ji také vyjádřit jako součin hustoty vláken ρ [kg/m³] a součet všech reálných ploch vláken v průřezu příze, jenž se označuje jako substanční průřez příze S [m²] [14].

$$T = \frac{m}{l} = \frac{V * \rho}{l} = \frac{S * l * \rho}{l} = S * \rho \quad (4)$$

1.3 Zaplnění

Zaplnění multifilamentu μ [-] je bezrozměrný parametr, který vyjadřuje zastoupení vláken a vzduchových mezer ve vlákněm útvaru. Výsledná teoretická hodnota se pohybuje v intervalu mezi 0 a 1. Hodnota zaplnění blízká 1, značí téměř zaplněný

vlákenný útvar, který má minimální podíl vzduchových mezer [14]. Hodnotu zaplnění lze spočítat dle vztahu:

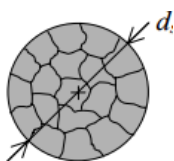
$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{4T}{\pi \rho d^2} \quad (5)$$

Kde μ [-] je hodnota zaplnění, V [mm³] je objem vláken v textilním útvaru, V_c [mm³] objem celkového vlákenného útvaru, T [tex] jemnost multifilu, ρ [kg/m³] měrná hmotnost vláken, d [mm] průměr multifilu.

1.4 Substanční a efektivní průměr

Substanční a efektivní průměr příze jsou dva odlišné parametry. Všechny příze, krom monofilu, jsou upředeny z 2 a více vláken. To stejné také platí v případě multifilu, jenž je vyroben chemickou cestou.

Substanční průměr definuje ideální případ, kdy si lze přízi představit jako homogenní válec, ve kterém dochází k pomyslnému vytlačení vzduchu ze hmoty vláken, vlivem přitlačení vláken do vzájemného naprostého kontaktu [14,15] (obr. 10).

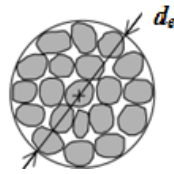


Obr. 10: Substanční průměr příze

$$d_s = \sqrt{\frac{4 * T}{\rho * \pi}} \quad (7)$$

d_s [mm] značí substanční průměr multifilu, T [tex] jemnost vlákenného útvaru, ρ [kg/m³] je měrná hmotnost fibril.

Efektivní průměr charakterizuje přízi jako vlákenný útvar, jež obsahuje určitý podíl vzduchu mezi vlákny (obr. 11). Informaci o množství vzduchových pórů popisuje veličina zaplnění. Je tedy patrné, že vlivem přítomnosti vzduchových mezer bude hodnota efektivního průměru mnohem vyšší, než u substančního průměru [15].



Obr. 11: Efektivní průměr příze

$$d_e = \sqrt{\frac{4 * T}{\rho * \mu * \pi}} \quad (6)$$

d_e [mm] značí efektivní průměr multifilu, T [tex] jemnost multifilu, ρ [kg/m³] je měrná hmotnost fibril, μ [-] hodnota zaplnění fibril.

1.5 Zákrut

Zákrut představuje zakroucení svazku vláken ve směru šroubovice kolem osy nitě. Je to počet udělených ovinů na jednotku délky zakroucené příze, zpravidla na jeden metr [m⁻¹]. Při udělování zákrutu dochází ke stlačení struktury délkového útvaru, dochází k lepší organizaci struktury- u staplové příze jsou částečně ukotvena odstávající vlákna, u multifilové příze nedochází z rozvolnění filamentů. Zákrut také zvyšuje pevnost a tuhost příze, negativně však může ovlivnit pružnost příze. Pro vyjádření zákrutu se nejčastěji používá Kőechlinův, či Phrixův zákrutový koeficient [15].

- Vazba tkaniny: - plátnová vazba

Plátnová vazba se řadí mezi jednu ze základních vazeb, jedná se o nejjednodušší a nejpoužívanější oboustrannou vazbu. Plátno má nejhustší možné provázání, které vzniká tak že se na každé osnovní i útkové niti pravidelně střídá jeden osnovní a jeden útkový vazný bod (obr. 12). Vlivem hustého provázání získává výsledná tkanina, velmi dobrou hodnotu plošnému zakrytí. Tkaniny vyrobené v plátnu, jsou velice pevné [4].



Obr. 12: Zobrazení plátnového provázání

- neplátnová vazba

Jako neplátnové, jsou označovány ostatní vazby: základní- kepr, atlas; odvozené, složené a zvláštní. Tyto vazby mají uvolněnější strukturu než plátno. Dochází u nich k většímu střídání osnovních i útkových vazných bodů. Delší úseky volně ležící neprovázané nitě se

nazývají floty (obr. 13). Flotážní vazby jsou řidší a méně provázané, jejich dostava tedy může být vyšší, než maximální 100% dostava plátna. Neplátňové tkaniny jsou více prodyšné, ale mohou mít menší pevnost, než tkaniny v plátňové vazbě [4,5].



Obr. 13: Zobrazení flotážního provázání

- Dostava tkaniny

Dostava osnovy a útku (D_o , D_u) vyjadřuje počet nití na určitou vzdálenost, zpravidla na 1 nebo 10 centimetrů. Hodnota dostavy osnovních a útkových nití určuje hustotu tkaniny, čím vyšší bude hodnota dostavy tkaniny, tím hustěji bude tkanina provázaná [4,5].

Podobně jako u průměru příze, není problematika z hlediska dostavy tkaniny zcela jednoznačná.

Lze použít Brierleyho zjednodušující vztah (8), který vychází ze **stoprocentně husté čtvercové dostavy tkaniny**, jež má maximální možné provázání. Osnovní i útkové nitě ve tkanině jsou kruhového homogenní válce bez vzduchových mezer. Nítě se vzájemně dotýkají a jsou maximálně provázány. Vazné body jednotlivých soustav, leží v osové rovině [9].

$$D_{\text{čt}_{\text{max}}} = \frac{100}{\sqrt{3} * d_{\text{s}_{\text{str}}}} = \frac{100}{\sqrt{4 * (d_{\text{s}_{\text{str}}})^2 - (d_{\text{s}_{\text{str}}})^2}} * f^m \quad (8)$$

Kde $D_{\text{čt}}$ [n/100 mm] čtvercová dostava tkaniny, $d_{\text{s},\text{str}}$ [mm] střední (substanční) průměr příze ve tkanině, ze vztahu, f^m [-] značí f stupeň provázání tkaniny, a m vazební exponent, vystihující podsouvání nití pod sebe ve volných vazbách.

Vztah (9) pro **skutečnou čtvercovou dostavu tkaniny** pak vychází z reálného stavu tkaniny. Je zde zohledněn obsah vzduchových pórů mezi vlákny přízí dílčích soustav, a fakt že jednotlivé útky nelze obvykle přirazit tak těsně k sobě, jak určuje stoprocentně hustá čtvercová dostava tkaniny [10].

$$D_{\text{ct}} = \frac{100}{\sqrt{4 * (d_{\text{ef_str}})^2 - (d_{\text{ef_str}})^2}} * f^m * \frac{H}{100} \quad (9)$$

Kde $d_{\text{ef_str}}$ [mm] střední (efektivní) průměr příze ve tkanině- vychází ze vztahu (9a), H [%] hustota tkaniny.

$$d_{\text{ef_str}} = \frac{d_{\text{ef}_o} + d_{\text{ef}_u}}{2} \quad (9a)$$

Dostava je významný parametry pro hodnocení zpracovatelských a užitných vlastností tkaniny. Se zvyšující se hodnotou dostavy roste pevnost, tuhost a mačkovost tkaniny, naopak klesá její tažnost, prodyšnost a splývavost.

Dostava osnovy a útků také přímo ovlivňuje míru zvlnění dané soustavy nití. Na (obr. 15) je 5 vybraných fází zvlnění osnovy (útek jsou kuličky, vazná vlna je osnova). Kde e_1 značí zvlnění osnovy a e_2 zvlnění útku, pak musí platit $e_1 + e_2 = 1$. Tuto metodu klasifikace, provázání tkaniny dle fází, zavedl Novikov. Velikost a charakter zvlnění mohou být ovlivněny také vlastnostmi materiálu, či technologickými parametry tkacího stroje. Důležité je, v jakém stavu (napjatá, relaxovaná, odšlichtovaná) je tkanina hodnocena [9].

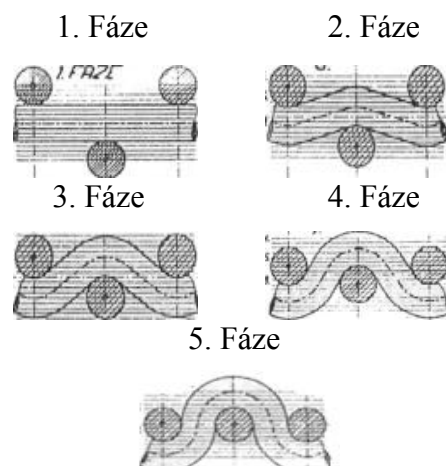
1. fáze: $e_i = 0$, osnova napřímená,
útek maximálně zvlněn

2. fáze: $e_i = 0,25$

3. fáze: $e_i = 0,5$, osnova i útek
zvlněny stejně

4. fáze: $e_i = 0,75$

5. fáze: $e_i = 1$, osnova maximálně zvlněná,
útek napřímen



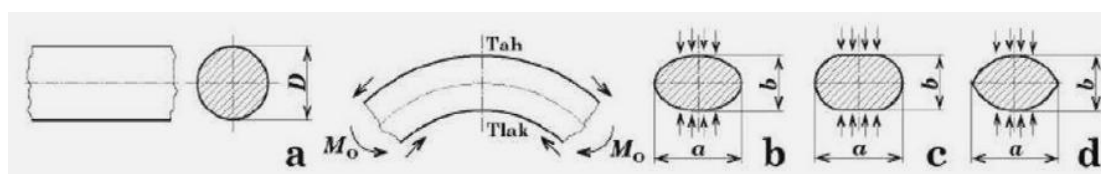
Obr. 14: Fáze provázání dle Novikova

V praxi obvyklé provázání hotové tkaniny, v oblasti rozpínek, dosahuje fáze 4, tedy že útek je velmi napřímený. Avšak při odtahování tkaniny zboží v vále, dochází k uvolnění a relaxaci tkaniny, míra provázání se pak pohybuje ve fázi 2, útek je značně zvlněný [16].

Je-li dostava osnovy řádově vyšší než dostava útku, nastává fáze 5, kdy je osnova maximálně zvlněna a útek je rovný. Tkanina je pak tažná pouze ve směru osnovy.

Vliv provázání nití ve tkanině na deformaci příčného řezu

Při zatkávání multifilu dochází k deformaci jeho kruhového průřezu. Vlivem provázání působí na horní polovinu multifilu axiální tahové namáhání, na dolní polovinu pak působí vnější tlakové axiální namáhání okolních přízí. V multifilu vzniká vnitřní napětí, jež má za následek změnu kruhového průřezu (obr. 15a) na eliptický (obr. 15b), oválný (obr. 15c), nebo čočkovitý tvar průřezu (obr. 15d). Se změnou kruhového průřezu multifilu dochází ke zmenšení jednotlivých pórů ve tkanině, a snížení prodyšnosti tkaniny [14].



Obr. 15: Deformace tvaru příze vlivem provázání

➤ Prostorová geometrie

Je charakterizována souborem údajů, které jsou přímo ovlivňovány typem a seřízením tkacího stroje. Mezi tyto údaje patří:

- Zvlnění osnovy a útku ve vazné buňce tkaniny
- Tvar vazné vlny
- Úhel provázání přízí ve tkanině

Strukturou tkaniny jsou přímo ovlivněny zpracovatelské a užitné vlastnosti jako například: setkatelnost, poddajnost, podélná tuhost, vzhled výrobku, prodyšnost a zakrytí tkaniny, či její plošná hmotnost [16].

2.2 Vazební techniky

Vazební techniky vznikají použitím základních vazeb a jejich odvozenin, popřípadě kombinací obou způsobů, ve tkaninách, které mají jednu nebo více osnovních, útkových soustav nití. Mezi vazební techniky patří: jednoduché, víceútkové a víceosnovní tkaniny, vícenásobné, dutinné či spojované tkaniny.

Jednoduché tkaniny jsou příkladem nejjednodušší vazební techniky, skládají se z jedné soustavy osnovních a útkových nití.

Víceútkové tkaniny se skládají z jedné osnovní soustavy nití a dvou, či více útkových soustav nití. Útkové nitě se ukládají ve vrstvách nad sebou. Při pohledu na hotovou tkaninu, lze na rubu i lici pozorovat útkový efekt. Ukládání vrstev útku nad sebou se docílí vypnutím zbožíového regulátoru pro příslušný počet útků.

Víceosnovní tkaniny jsou tvořeny dvěma a více soustavami osnovních nití a jednou soustavou útkových nití. Při tkaní mohou být osnovy, jež mají stejné setkání odebírány z jednoho osnovního válu. V případě rozdílného setkání, musí mít každá osnova vlastní osnovní vál. Oproti víceútkovým tkaninám není potřeba dočasně vypínat zbožíový regulátor, produktivita tkacího stroje je tak mnohem vyšší a výroba ekonomicky výhodnější.

Přidáním další osnovní, či útkové soustavy nití do jednoduché tkaniny, dojde ke zpevnění a zesílení výrobku, hotová tkanina se stává savější, měkčí a má lepší izolační schopnosti.

Vícenásobné tkaniny vznikají nejméně ze dvou soustav útkových i osnovních nití. Účelem výroby vícenásobné tkaniny je výrobek, který v sobě nese kombinaci vlastností charakteristických pro víceútkové i víceosnovní tkaniny [4,5].

2.2.1 Dutinné tkaniny

Dutinná tkanina je tvořena ze dvou, nebo tří samostatných tkanin nad sebou, které se mohou vzájemně prostupovat dle požadavků na použití. Dutinná tkanina má nejméně dvě osnovní a dvě útkové soustavy nití. Jako dutiny se vyrábějí tkané grafty- cévní náhrady. Grafty se tkají o průměru pár centimetrů, pro jejich zhotovení se nejčastěji používají žakárské stuhařské stavy (obr. 16).



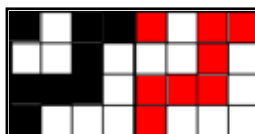
Obr. 16: Žakárský stav na výrobu úzkých tkanin

Stuhy- úzké tkaniny se vyrábějí pomocí různých vazebních technik, jejich šířka se pohybuje v řádech několika centimetrů. Na stavu se tká současně několik stuh najednou. Každá dílčí tkanina má vlastní prohozní prvek s centrálním ovládáním. Pro vzorování na žakárských stavech, se používá až 8 člunků pro každou tkaninu (obr. 17). Pomocí člunků, lze vytvořit úzkou tkaninu disponující pevným krajem. Navíjení každé stuhy je samostatné [4,5,17].



Obr. 17: Barevná člunková záměna

Při výrobě dutinných tkanin se rozlišuje nejméně jedna vrchní osnovní a útkovou soustava nití a jedna spodní osnovní a útkovou soustavu nití. Každá dílčí tkanina má své provázání v požadované jednoduché vazbě. Při zatkávání útku do vrchní tkaniny dojde k vytvoření prošlupu zvednutím příslušných osnovních nití vrchní tkaniny, které mají vytvořit osnovní vazný bod. Při zatkávání útku do spodní tkaniny musí útek ležet pod všemi osnovními nitěmi vrchní tkaniny, a pod vybranými osnovní nitěmi dolní tkaniny. Zdvih celé osnovní soustavy se nazývá plnozvedání (obr. 18). Všechny osnovní nitě mají stejné setkání, mohou být tedy uloženy na jednom osnovním válu [4].



Obr. 18: Plnozvedání- zápis vazby

Spojovanými tkaninami jsou nejčastěji dvojnásobné dutinné tkaniny, které používají dalšího propojení dílčích tkanin vzájemně tak, aby tvořily kompaktní strukturu v celé ploše. Spojení zajišťuje vzájemné provázání jedné soustavy nití vrchní tkaniny s jednou kolmou soustavou spodní tkaniny, nebo je použita samotná tenká soustava nití, která prochází oběma tkaninami [4].

3. Analýza vybraných vlastností textilní membrány

V následujících podkapitolách jsou popsány vybrané vlastnosti textilní membrány, vhodné k měření a testování. Jedná se vždy o popsání dané charakteristiky, pomocí teoretické a experimentální metody.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1, pod pojmem textilní membrána se rozumí jak plošná tak prostorová struktura. Plošná tkanina s primárním využitím na vzduchové, či kapalinové filtry, a prostorová s využitím na cévní náhrady- grafty.

3.1 Plošná hmotnost membrány

3.1.1 Teoretické zjištění plošné hmotnosti membrány

Jedná se o váhu určité plochy tkaniny. Vyjadřuje se pomocí dostavy útkové a osnovní soustavy nití, jemnosti přízí jednotlivých soustav, a dle setkání nití těchto soustav.

$$G = \left[D_o * T_o * \left(1 + \frac{s_o}{10^2} \right) + D_u * T_u * \left(1 + \frac{s_u}{10^2} \right) \right] * 10^{-2} \quad (10)$$

Kde G [g/m^2] je plošná hmotnost tkaniny, D_o , D_u [$\text{n}/10\text{cm}$] dostava osnovních a útkových nití, T_o , T_u [tex] jemnost osnovních a útkových nití, s_o , s_u [m] je setkání osnovních a útkových nití.

Setkání je velmi obtížně zjistitelný parametr. Obecně se zjišťuje, vypáráním osnovní, či útkové nitě z tkaniny a následně se změří šířka úseku, jež nit ve tkanině zaujímal. Rozdíl mezi délkou nitě ve tkanině a délkou nitě vypárané je pak výsledná hodnota setkání. Problematické je změření vypárané nitě. Vypáraná nit se může přirozeně zkroutit. Tento tvar je pro měření nevhodný a tak musí být nit narovnána, čímž dochází k silovému působení a ovlivnění hodnoty její délky. Proto lze použít zjednodušený vztah (11).

$$G = [D_o * T_o + D_u * T_u] * 10^{-2} \quad (11)$$

3.1.2 Experimentální zjištění plošné hmotnosti membrány

Váha určité plochy tkaniny byla měřena dle normy ČSN EN 12127. Vzorky o dané velikosti se váží na analytických vahách s přesností na setinu miligramu. Hodnoty musí

být statisticky vyhodnoceny. Dle vztahu (12), lze získat přesnou hodnotu plošné hmotnosti tkaniny.

$$G = \frac{m}{A} * 10^4 \quad (12)$$

Kde G [g/m²] je plošná hmotnost tkaniny, m [g] hmotnost váženého vzorku, A [cm²] plocha váženého vzorku.

3.2 Tloušťka membrány

3.2.1 Teoretické zjištění tloušťky

Tloušťka tkaniny je definována jako kolmá vzdálenost rubu a líce tkaniny [17]. Výpočet tloušťky je možný dle vztahu (13):

$$t = \left[(d_o + d_u) + \left[\frac{d_o + d_u}{2} * e_1 - \frac{d_o + d_u}{2} * (1 - e_1) \right] \right] * f^m * \beta \quad (13)$$

Kde t [mm] je tloušťka tkaniny, d_o [mm] je průměr osnovních příze, d_u [mm] je průměr útkové příze, e_1 [-] míra zvlnění osnovy, f^m [-] kde f značí stupeň provázání tkaniny, a^m vazební exponent, vystihující podsouvání nití pod sebe ve volných vazbách., β [-] je koeficient zploštění příze u efektivního průměru.

3.2.2 Experimentální zjištění tloušťky

Stanovení tloušťky se experimentálně zjišťuje dle normy ČSN EN ISO 5084, jedná se o kolmou vzdálenost mezi dvěma definovanými deskami, které působí na měřenou tkaninu přítlakem 1kPa, nebo méně. Pro měření se používá přístroj zvaný tloušťkoměr.

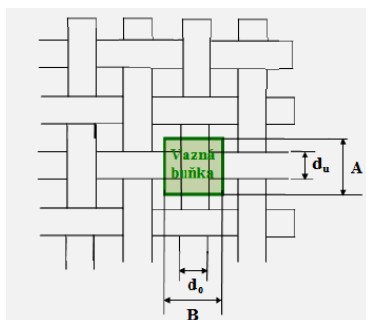
Tloušťka tkaniny může být ovlivněna jemností přízí, dostavou v osnově a útku, vazbou, či druhem použitého materiálu, například jeho tuhostí.

3.3 Plošné zakrytí

3.3.1 Teoretické zjištění plošného zakrytí

Plošné zakrytí je důležitá veličina sloužící k popisu struktury tkaniny. Tento parametr je charakterizován jako plocha zakryté tkaniny ku celkové ploše tkaniny. Vztah pro výpočet (14) vychází z půdorysné plochy nití ve vazné buňce tkaniny, kde plocha vazné buňky je zčásti kryta osnovní a z části útkovou nití (obr. 19). Jedná se o parametr, který je důležitý pro

posuzování některých užitných vlastností tkanin, zejména prodyšnosti. Obecně lze říci, že čím více bude tkanina krytá vaznými body, tím méně bude prodyšná [10].



Obr. 19: Vazná buňka tkaniny

$$Z = \frac{d_o * A + d_u * B - d_o * d_u}{A * B} \quad (14)$$

Kde Z [%] vyjadřuje zakrytí tkaniny, d_o , d_u [mm] průměr osnovní a útkové příze, A , B značí rozstup útkových a osnovních nití [mm]

Stanovit hodnotu rozestupu útkových a osnovních vazných bodů je velice obtížné, proto lze také použít vztah:

$$Z = Z_o + Z_u - \frac{Z_o * Z_u}{100} = D_o * d_o * \alpha + D_u * d_u * \alpha \quad (15)$$

Kde Z_o , Z_u dílčí plošné zakrytí [%], D_o , D_u [n/100 mm] dostava osnovních a útkových nití, a α [-] je konstanta pro rozšíření efektivního průměru útkové či osnovní příze.

3.2.1 Experimentální zjištění plošného zakrytí

Norma ISO 7198:1998 uvádí, že zjištění plošného zakrytí textilní membrány určené pro cévní náhrady, se provádí planimetrickou metodou [8].

Planimetrická metoda zjištění plochy zakryté vaznými body tkaniny se provádí dle normy IN 23-107-01/01, pomocí systému obrazové analýzy Lucia G, který pracuje se softwarem Nis Elements 3.2. Pomocí obrazové analýzy jsou pořízeny obrazy sledované tkaniny, dochází k jejich převedení do softwaru, který obrazy dále zpracovává a vyhodnocuje.

3.4 Objemová porosita

3.4.1 Teoretické zjištění objemové porosity

Porosita je definována jako údaj o objemu vzduchových pórů v celkovém objemu tkaniny. Množství vzduchu obsažené ve struktuře tkaniny má přímou souvislost s prodyšností tkaniny. Průchod vzduchu, či kapaliny je závislý na množství, distribuci a tvaru vzduchových pórů v textilní membráně [14].

Porosita také přímo koresponduje se schopností buněk prorůstat stěny graftu v lidském organismu. Dle normy ISO 7198:1998 se provádí zjištění objemové porosity textilní membrány určené pro cévní náhrady, gravimetrickou metodou [8], pomocí vztahu (16).

$$\psi = 1 - \frac{G}{\rho * t} \quad (16)$$

Kde je ψ [-] objemová porosita, G [kg/m²] plošná hmotnost tkaniny, ρ [kg/m³] měrná hmotnost multifilu, t [m] tloušťka membrány.

3.2.1 Experimentální zjištění objemové porosity

Pro stanovení experimentální hodnoty objemové porosity se používá počítačová mikrotomografie tzv. micro CT. Touto nedestruktivní metodou lze stanovit 3D vnitřní strukturu textilní membrány. Pro měření se používá přístroj microtomograf s vysokým rozlišením. Objemová porosita se stanovuje na základě tomografického obrazu, který se skládá z mnoha RTG snímků. Textilní membrána je vložena do měřicího přístroje, který sestává z rentgenky a detektoru. Výsledný 3D obraz se skládá z nasnímaných 2D obrazů okolo celého objektu ve 360°. Rentgenka i detektor jsou pevně uloženy, otáčí se pouze vzorek (obr. 20). Rentgenka pomocí rentgenového záření prosvěcuje vzorek a vysílá signál detektoru. Detektor je napojen na počítačový software, ve kterém se zobrazují nasnímané řezy. Řezy jsou pořizovány po každém pootočení vzorku, přibližně po 1°. Z pořízených řezů se následně určí objem vzduchu a materiálu ve tkanině [20].

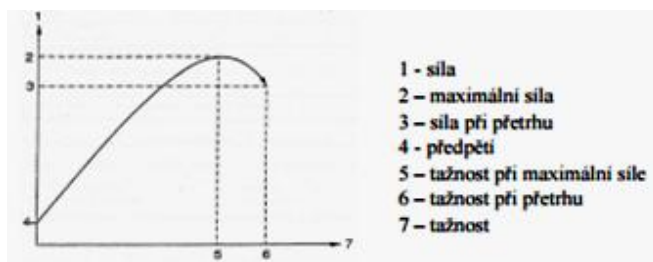


Obr. 20: Princip fungování Micro CT

3.5 Mechanické vlastnosti v jednoosém namáhání

Mezi základní mechanické vlastnosti patří, namáhání v režimu jednoosé deformace v tahu. Pevnost je ukazatel odolnosti textilní membrány vůči mechanickému působení vnějších sil. Při měření se posuzuje vztah mezi tažnou silou a změnou délky v průběhu namáhání a při přetržení. Působením rostoucí síly na tkaninu, dochází k nárůstu jejího prodloužení, až do bodu přetrhu.

Měření je prováděno dle normy EN ISO 13934. Vzorky jsou mechanicky namáhány na trhacím stroji, jenž v počítačovém software zaznamenává silové křivky. Zkouška spočívá v plynulém zatěžování zkušební vzorku až do jeho porušení. Při přetrhu je zjištěna maximální tahová síla a jí odpovídající prodloužení. Trhání vzorků o definované velikosti se provádí ve směru osnovy i útku. Z průběhu křivky závislosti tažné síly na podélném protažení, lze posuzovat chování vzorku během namáhání (obr. 21). U textilií nelze popsat modul pružnosti stejnou definicí jako Youngův modul. V textilní terminologii se používá pojem počáteční tangentový modul, který je dán první derivací funkce tahové (pracovní) křivky, neboli tečnou ke křivce v počátku. Modul pružnosti je ovlivněn zejména materiálem, dostavou a provázáním přízí ve tkanině [10].



Obr. 21: Průběh křivky při jednoosém namáhání

3.6 Propustnost tekutin

Propustnost je schopnost textilní membrány, nechat projít určité množství kapaliny skrz svoji strukturu. Propustnost je přímo ovlivněna porositou tkaniny. Bude-li tkanina obsahovat velké množství vzduchových pórů, bude i prostupnost tekutiny skrz strukturu membrány vysoká [8].

Míru propustnosti tkaniny, také určuje vliv: počtu vláken, deformace v průřezu a tvarování příze. Tkanina vyrobená z hladkého monofilamentu bude obecně mnohem více propustná, než tkanina z kadeřeného, či provířeného hedvábí o velkém počtu fibril. Kruhový průřez multifilu se vlivem provázání zploští (více podtitulek Vliv provázání nití ve tkanině na deformaci příčného řezu, str. 24), fibrily se uvolní do stran a zakryjí větší plochu tkaniny, čímž omezí prostup tekutiny [8,18].

Dle normy ISO 7198:1998 je možné propustnost měřit dvěma způsoby. Jednou možností je měřit propustnost skrz určitou plochu. V druhém případě se jedná o měření průtoku vody skrz celou plochu cévní náhrady [8].

Pro měření se používá destilovaná voda. Krev se nehodí pro opakované testování, zůstává v oběhu systému přístroje a měření by bylo nehygienické. Voda má při teplotě 37°C nižší hustotu, než lidská krev. Graft který splní normu propustnosti v laboratorních podmínkách, tedy musí správně fungovat i v cévním řečišti lidského těla. Testování probíhá při definovaném tlaku na přístroji pro měření propustnosti. Propustnost se stanovuje z rychlosti průtoku určitého objemu vody skrz danou plochu vzorku.

3.7 In vitro testování- Kultivace 3T3 myšími fibroblasty

In vitro je latinský výraz pro testování v laboratorních podmínkách, tzv. „ve skle“. Tím je myšleno použití skleněných pomůcek, například zkumavky, baňky, či Petriho misky.

Tkané grafty vynikají vysokou odolností vůči propustnosti krve v cévním řečišti. Zároveň však disponují nízkou hodnotou porosity, což má za následek horší uchytávání buněk vazivové tkáně lidského organismu. Podobně jako v případě propustnosti, má velký vliv na prorůstání, počet fibril v multifilu a jeho tvarování. Z in vitro testování vyplynulo, že buňky se nejlépe uchytávají na vlákna o průměru několik mikrometrů. Vlákna, která byla v řádech nanometru, neposkytovala dostatečnou plochu pro uchycení a množení buňky. Také vyšší počet fibril příznivě ovlivňuje kultivaci buněčným organismem[8,13].

Pro buněčné testování se používají 3T3 myší fibroblasty, či lidské endotelové buňky. Fibroblasty jsou základní buňky vazivové tkáně, která se nachází v různých částech lidského těla. Endotel je jednovrstevnatá cévní výstelka, která se nachází na vnitřní straně krevních a lymfatických cév. Endotely mají bariérovou funkci, oddělují cévní soustavu od tkáňového prostředí, a zároveň zajišťují jeho sekreci [1,19].

Testování graftu nejdříve probíhá s myšími fibroblasty, v případě že viabilita (životaschopnost) buněk je dostačující, mohou se provést testy s lidskými endotely. Vyhodnocení se provádí třemi způsoby, v prvním případě se jedná o MTT test, sledování viability buněk. Druhé měření probíhá pomocí fluorescenční mikroskopie, kde jsou jádra buněk obarvena kontrastní látkou a jejich počet a koncentrace sledována pod fluorescenčním mikroskopem. Poslední testovací metodou je stanovení morfologie buněk pomocí elektronové mikroskopie. Sleduje se zde tvar a uchycení buněk na testovaném materiálu.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

K léčbě cévních onemocnění se nejčastěji používají pletené grafty. Cílem této práce je navrhnout a realizovat vytkáni textilní strukturu, jež bude moci v oblasti endovaskulární léčby konkurovat pleteným graftům. Předlohou pro tuto práci byl klinicky používaný tkaný graft, který však má pro své nedostatky, jež budou popsány dále, malé využití.

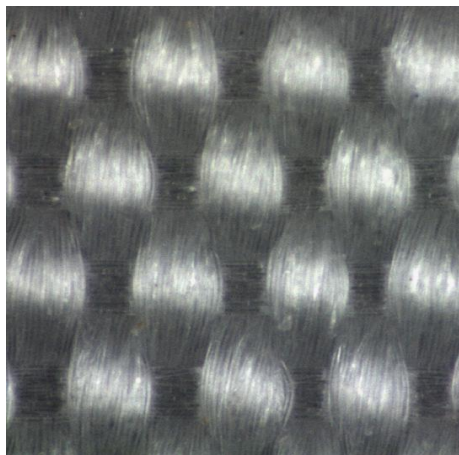
Referenční graft

Referenční graft byl tkán ze 100% hladkého polyesterového multifilu, jemnosti 10 tex s 36 fibrilami v útku a 48 fibrilami v osnově. Na obrázku 22 je klinicky používaný stentgraft.



Obr. 22: Referenční graft opatřený stentem

Graft byl tkán ve vazbě plátno s dostavou útku 44 nití na centimetr a dostavou v osnově 64 n/cm. Pomocí obrazové analýzy byl nasnímán pohled na plošnou strukturu graftu. (obr. 23). U Referenčního graftu byl také vytvořen příčný a podélný řez (Tabulka 1).



Obr. 23: Snímek Referenčního graftu

Tabulka 1: Příčný a podélný řez Referenčním graftem

Příčný řez (vazná vlna - útek)	Podélný řez (vazná vlna - osnova)

Zvlnění útku bylo odhadnuto z příčného řezu Referenčním graftem. Útek byl minimálně zvlněný. Z podélného řezu bylo stanoveno vysoké zvlnění osnovy.

Jelikož byl k dispozici pouze malý vzorek Referenčního graftu, nemohl být testován na všechny vybrané charakteristiky.

Plošné zakrytí graftu bylo 99,99%, jedná se tedy o tkaninu s mizivým obsahem vzduchových mezer.

Prorůstání buněk vychází z množství vzduchových mezer v graftu. Takto vysoké zakrytí a hladký povrch použitého multifilu znesnadňuje ukotvení a množení buněk vazivové tkáně. Při kultivaci byla na stěnách graftu pozorována malá buněčná aktivita.

Tloušťka stěny graftu byla velmi nízká 0,131 mm. Dle normy ISO je maximální tloušťka stěny klinicky používaných tkaných graftů 0,38 mm. Norma nestanovuje minimální hodnotu tloušťky, je ovšem možné že takto nízká hodnota může způsobit problém při zavádění stentgraftu. Stentgraft vysouvaný z dilatátoru se okamžitě snaží nabývat původního tvaru a nízká hodnota tloušťky může vést k proražení stěny graftu stentem.

Tažnost graftu v příčném směru je vlivem vysokého zvlnění osnovy minimální, graft je více roztažný v podélném směru. U klinicky používaných graftu je požadována vyšší příčná tažnost, než podélná. Cévní protéza se snaží být plnohodnotnou náhradou cévy lidské, která se vlivem působení tlaku proudící krve rozpíná v příčném směru. Cévní protéza je vytkána z hladkého multifilu, který vykazuje nízkou počáteční tažnost, graft je tedy velmi tuhý.

Propustnost tkaného graftu byla velmi nízká 192,6 ml/min. Klinicky používané grafty mají horní hranici propustnosti 1900 ml/min. Určitá krevní ztráta je potřeba zlepšuje podmínky pro porůstání buňkami. V lékařské praxi bylo zjištěno, že grafty které mají hodnotu propustnosti nižší než 800 ml/min jsou dlouhodobě špatně prorůstány buňkami vazivové tkáně. Implantované tkané grafty s hodnotou propustnosti 200 ml/min jsou i po letech téměř holé.

4. Základní parametry a konstrukce membrány

4.1 Parametry multifilu

Pro experiment byly použity jednoduché multifily jemnosti 7,5; 8,3 a 10 tex ze 100% polyesterových fibril. Jednalo se o multifilament s počtem fibril 36, 72, 96 a 144, který

byl tvarovaný nepravým zákrutem, provířený nebo pouze hladký. Hladký multifil byl vybrán na základě předlohy Referenčního graftu. Tvarovaný a provířený multifil byl vytipován dle předpokladu, že budou mít vyšší tažnost než hladký multifil. O jaký druh multifilu se v dílčím vzorku tkaniny jedná, bude dále přesně specifikováno.

4.1.1 Jednoosé namáhání

V laboratoři KTT bylo provedeno měření a následné statistické vyhodnocení pevnosti a tažnosti dle ČSN EN ISO 2062.

Pro měření byl použit přístroj Instron, na kterém byla zvolena upínací délka: 500 mm. Pro každý multifil byla na základě normy zvolena jiná rychlost deformace: 220, 230, 240, 250 a 300 mm/min. U každého druhu multifilu bylo provedeno 50 měření.

Testování bylo prováděno u všech multifilamentů použitých v průběhu experimentu.

Jednalo se o multifil: jemnosti 8,3 tex, s počtem 36 fibril, provířený

jemnosti 7,5 tex, s počtem 72 fibril, tvarovaný

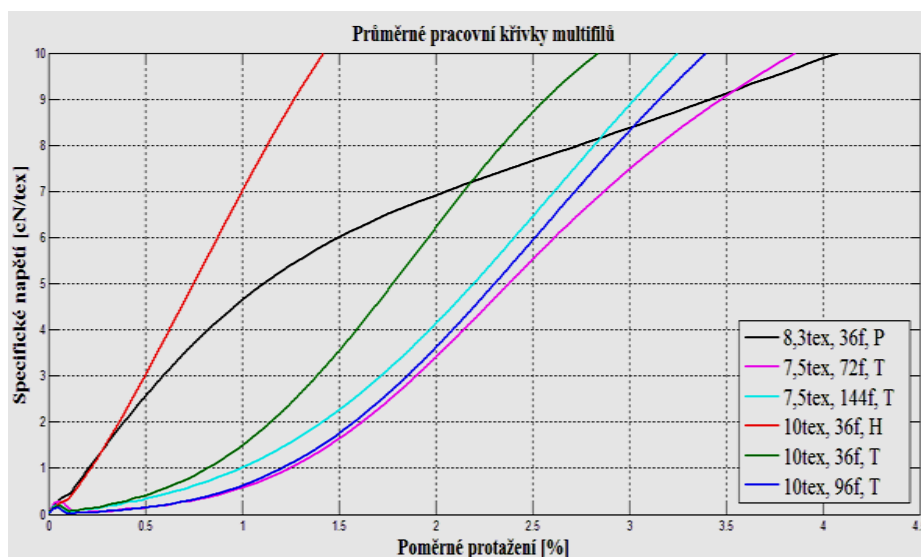
jemnosti 7,5 tex, s počtem 144 fibril, tvarovaný

jemnosti 10 tex, s počtem 36 fibril, hladký

jemnosti 10 tex, s počtem 36 fibril, tvarovaný

jemnosti 10 tex, s počtem 96 fibril, hladký

Sledovanou oblastí průběhu křivky byl, počáteční tangentový modul (obr. 24).



Obr. 24: Tahové křivky multifilů použitých pro experiment

Z průběhu křivky multifilu jemnosti 8,3 tex, s počtem 36 fibril, provířeného (černá křivka) a multifilu jemnosti 10 tex, s počtem 36 fibril, hladkého (červená křivka) je

patrná nízká počáteční tažnost, tedy jejich vysoká tuhost. Pro budoucí tkaní cévních náhrad tyto multifily nejsou vhodné. Ostatní multifilamentu prokázaly vysokou počáteční tažnost a mohou být použity pro výrobu tkaných graftů.

4.2 Proces tkaní

V této kapitole budou postupně popsány operace od přípravy materiálu pro tkaní až po hotovou tkaninu. Proces tkaní byl realizován opakovaně, v průběhu byly upravovány parametry tkaní, pro objasnění toho postupu jsou zde popsány zpracovatelské vlastnosti.

4.2.1 Snování

První operací procesu tkaní, bylo snování. Pro snování první osnovy byl použit multifil, bez ochranného zákrutu, navinutý na válcové cívce. Hotová osnova měřila 3 metry.

Pro snování druhé osnovy, jež měřila také 3 metry, byla použita předloha navinutá na válcové cívce. Která byla před snováním opatřena ochranným zákrutem.

Poloprovozní snovadlo má obvod snovacího bubnu 3 metry. Pro vytvoření osnovy pro třetí tkaninu, jejíž výsledná délka měřila 33 m, bylo třeba připravenou předlohu opatřenou ochranným zákrutem, převinout na několik dílčích pásů, které se na snovadlo navíjeli postupně. Jeden pás byl odvíjen ze 40 cívek, pro požadovaný celkový počet osnovních nití 1120 bylo třeba nasnovat 28 pásů. Pro vytvoření 33 metrové osnovy se muselo snovadlo při tvorbě každého pásu otočit 11 krát.

4.2.2 Navádění a tkaní

Pro vzorky **Tkanina č. 1** byly stanoveny technické parametry:

- $D_o = 420 \text{ n/10 cm}$
- $\check{C}p = 140 \text{ z/10 cm}$
- Návod do zubu = 3 nitě
- $\check{S}tk = 45 \text{ cm}$
- $C_{pn} = 1890$
- Materiál v osnově: PES T=10 tex, 36 fibril, tvarovaný, $Z=0 \text{ m}^{-1}$

Po operaci snování, byl osnovní vál založen do experimentálního tkalcovského stavu SL 7900. Kde poté následovala operace navádění (obr. 25) Pomocí hladkého návodu do deseti listů a po třech nitech do zubu paprsku byla připravena osnova ke tkaní.

Tvarovaný multifil s počtem 36 fibril, ze kterého byla osnova nasnována, nebyl opatřen ochranným zákrutem. Tato skutečnost působila jistý problém při navádění, uvolněné filamenty měly tendenci se přidružovat k fibrilám vedlejšího multifilu (obr. 26). Tento nedostatek se ještě více projevil při samotném tkaní, kdy vlákna sousedních nití, takto spojená, se začala při průchodu nitěnkami odtrhávat a postupně docházelo k přetrhům samotných multifilů. I přes veškerou snahu obsluhy stroje a citlivé tkaní, byla větší část výsledné tkaniny znehodnocena chybějícími osnovními nitěmi (obr. 27). Pouze jedna třetina tkaniny byla v pořádku a dala se označit jako kvalitní, tato část pak byla následně použita pro měření a testování.

Výsledná délka tkaniny činila přibližně 2 metry. Zbýlý metr osnovy nebylo možné vytkat, nacházel se v nepracovní části stroje.

- Materiál v útku: $T = 10 \text{ tex}$, 36 fibril, tvarovaný, $Z = 0 \text{ m}^{-1}$
- Vazba a dostava útku: Plátno

$Dú = 10\text{-}30 \text{ n/cm}$



Obr. 25: Navádění osnovy



Obr. 26: Pohled do prošlupu (za listy) na spojující se fibrily multifilu



Obr. 27: Hotová Tkanina č. 1 s chybějícími osnovními nitěmi

Pro vzorky **Tkanina č. 2** byly stanoveny technické parametry:

- $D_o = 280 \text{ n/10 cm}$
- $\check{C}p = 140 \text{ z/10 cm}$
- Návod do zubu = 2 nitě
- $\check{S}tk = 40 \text{ cm}$
- $C_{pn} = 1120$
- Materiál v osnově: PES $T=10 \text{ tex}$, 36 fibril, tvarovaný, $Z=120 \text{ m}^{-1}$

Po předchozí problematické zkušenosti, vytkávaní plošné textilie s osnovními nitěmi bez ochranného zákrutu, byly osnovní nitě následující tkaniny opatřeny ochranným zákrutem 120 m^{-1} .

Po provedení příčného i podélného řezu první tkaninou, bylo zjištěno nevyhovující zvlnění útku, které bylo mnohem menší než zvlnění osnovy. Kvůli dosažení většího zvlnění útku než osnovy, došlo u následujících tkanin k uvolnění dostavy osnovních nití z původního počtu 42 n/cm na 28 n/cm . Po mírném zkrácení šířky tkaniny a snížení dostavy osnovních nití, byl celkový počet nití 1120. Po úpravě následujících požadavků byla nově nasnovaná tkanina navedena do stroje. Návod byl hladký do deseti listů a po dvou nitech do zubu paprsku.

Samotné tkaní, při absenci rozvolněných fibril multifilu, proběhlo bez problému, hotová tkanina byla vysoké kvality (obr. 28). Výsledná tkanina měla délku dva metry. V předchozí tkanině byly útek i osnova ze stejného materiálu a parametrů. Tentokrát bylo v útku použito více různých druhů multifilamentu následujících parametrů.

- Materiál v útku: $T=10 \text{ tex}$, 36 fibril, hladký, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
 $T=10 \text{ tex}$, 36 fibril, tvarovaný, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
 $T=8,3 \text{ tex}$, 36 fibril, provířený, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
- Vazba a dostava útku: Plátno
 $Dú = 30, 35, 40 \text{ a } 45 \text{ n/cm}$



Obr. 28: Hotová Tkanina č. 2

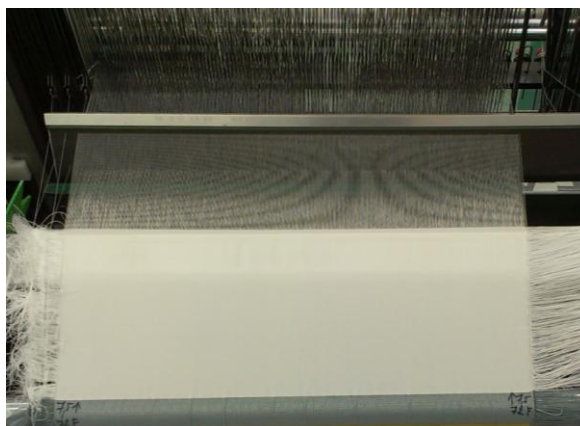
Pro vzorky **Tkanina č. 3** byly stanoveny technické parametry:

- $D_o = 280 \text{ n/ 10 cm}$
- $\check{C}p = 140 \text{ z/ 10 cm}$
- $\text{Návod do zubu} = 2 \text{ nitě}$
- $\check{S}tk = 40 \text{ cm}$
- $C_{pn} = 1120$
- Materiál v osnově: PES $T=7,5 \text{ tex}$, 144 fibril, tvarovaný, $Z=120 \text{ m}^{-1}$

Pro poslední tkaninu vyrobenou v ploše, byl do osnovy použit polyester jemnosti 7,5 tex s počtem 144 fibril opatřený ochranným zákrutem. Tato změna se nekonala proto, že by předchozí osnova nebyla vyhovující, pouze šlo o další zlepšení vlastností tkaniny s ohledem na testované požadavky. Osnova na tkacím stroji byla navedena stejným způsobem, jako osnova předešlá.

Samotné tkaní proběhlo bez problému. Výsledná tkanina byla výborné kvality (obr. 29) s celkovou délkou 32 metrů. Do útku byl použit materiál různé jemnosti, o různém počtu fibril a rozdílného tvarování, viz následující přehled.

- Materiál v útku: $T= 7,5 \text{ tex}$, 144 fibril, tvarovaný, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
 $T= 7,5 \text{ tex}$, 72 fibril, tvarovaný, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
 $T= 8,3 \text{ tex}$, 36 fibril, provířený, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
 $T= 10 \text{ tex}$, 36 fibril, hladký, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
 $T= 10 \text{ tex}$, 36 fibril, tvarovaný, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
 $T= 10 \text{ tex}$, 96 fibril, provířený, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
- Vazba a dostava útku: Plátno
 $Dú = 40 \text{ n/cm}$



Obr. 29: Hotová Tkanina č. 3

Pro vzorky **Tkanina- graft** byly stanoveny technické parametry:

- $D_o = 460 \text{ n/ 10 cm}$
- $\check{C}p = 140 \text{ z/ 10 cm}$
- Návod do zubu = 4 nitě
- $\check{S}tk = 2 \text{ cm}$
- $C_{pn} = 113$
- Materiál v osnově: PES $T=7,5 \text{ tex}$, 144 fibril, tvarovaný, $Z=120 \text{ m}^{-1}$

Realizace vytkání vzorku Tkanina- graft, byla prováděna na stuhařském tkacím stroji s žakárským prošlupným zařízením (obr. 31). Jednalo se o mechanický žakárský stroj, kde bylo třeba připravit program pro tkaní v podobě kartových pásů. Karty byly děrovány dle požadované vazby. Dostava v útku byla 40 n/cm , jelikož není možné žakár programovat elektronicky, bylo dosaženo požadované dostavy pomocí ozubeného kola. Počet zubů na kole určuje počet nití v útku na jeden centimetr. Graft byl zhotovován jako dutinná tkanina, bylo tedy třeba připravit karty pro vazbu plátna s plnozvedáním. Stuhařský stroj disponuje čtyřbarevnou útkovou záměnou (obr. 30), která byla využita pro tkaní horní a dolní tkaniny. V jednom tkacím cyklu, došlo k zatčení útku do horní osnovy, v následujícím cyklu pak byl útek zatčen do osnovy spodní. Tkaniny, ve kterých se zanáší útek pomocí člunku, jsou charakteristické pevnými kraji. Vyrobená tkanina měla tvar bezešvé trubice (obr. 32).

Do útku byl použit materiál, viz následující přehled.

- Materiál v útku: $T= 7,5 \text{ tex}$, 144 fibril, tvarovaný, $Z=0 \text{ m}^{-1}$
 $T= 7,5 \text{ tex}$, 72 fibril, tvarovaný, $Z=0 \text{ m}^{-1}$

$T = 8,3 \text{ tex}$, 36 fibril, provířený, $Z = 0 \text{ m}^{-1}$

$T = 10 \text{ tex}$, 36 fibril, hladký, $Z = 0 \text{ m}^{-1}$

$T = 10 \text{ tex}$, 36 fibril, tvarovaný, $Z = 0 \text{ m}^{-1}$

$T = 10 \text{ tex}$, 96 fibril, provířený, $Z = 0 \text{ m}^{-1}$

- Vazba a dostava útku: Plátno

$Dú = 40 \text{ n/cm}$



Obr. 31: Žakárový stroj na výrobu úzkých tkanin



Obr. 30: Pohled na člunkovou záměnu



Obr. 32: Bezešvá dutinná tkanina

4.3.3 Fixace

Před dalšími kroky měření a testování, bylo potřeba plošné tkaniny zafixovat. V průmyslu se pro fixaci používají fixační rámy, do kterých se tkanina upne a následně prochází fixační komorou, která je vyhřívána na požadovanou teplotou, po výstupu je tkanina ochlazována pouze okolním vzduchem. Takovéto zařízení bohužel nebylo k dispozici, fixace tedy byla provedena napařovací žehličkou.

5. Zhodnocení vybraných vlastností textilní membrány na základě experimentálních a teoretických metod

V předchozí kapitole byla popsána výroba jednotlivých tkanin. Před vytkáním nové textilie následovalo vždy testování aktuálně vyrobené tkaniny. Po fixaci byla tkanina nejdříve nastříhána dle typu vzorků, které se lišily dostavou, či materiálem v útku. Následně byly tyto typy rozstříhány na dílčí vzorky o potřebné velikosti, a poté klimatizovány dle normy ČSN EN 20139.

Jak již bylo popsáno v rešeršní části, tkaniny vyrobené jako plošné či prostorové struktury, budou souhrnně označovány jako textilní membrány.

Specifikace vzorků dané tkaniny

Tkanina č. 1



Vzorky Tkaniny č. 1 budou rozlišovány dle použité dostavy v útku (Tabulka 2). Dostava osnovy se samozřejmě v průběhu tkání neměnila. Pro osnovu i útek byl použit shodný multifil jemnosti 10 tex, s počtem 36 fibril, tvarovaný.

Tabulka 2: Specifikace označení vzorků Tkaniny č. 1

Tkanina č. 1		
Specifikace vzorku	Jemnost [tex]	Označení
Dú 10n/cm, tvarovaný multifil	10	Dú 10
Dú 12n/cm, tvarovaný multifil	10	Dú 12
Dú 20n/cm, tvarovaný multifil	10	Dú 20
Dú 25n/cm, tvarovaný multifil	10	Dú 25
Dú 30n/cm, tvarovaný multifil	10	Dú 30

Pro porovnání retenčního graftu a Tkaniny č. 1 byl vytvořen příčný a podélný řez vzorku Dú 30 (Tabulka 3).

Tabulka 3: Příčný a podélný řez Tkaninou č. 1

Příčný řez (vazná vlna - útek)	Podélný řez (vazná vlna - osnova)
Dú 30	
	

Vzorek Dú 30 je svým zvlněním po osnově i útku (Tabulka 3) totožný jako Referenční graft. Zvlnění osnovy je větší než zvlnění útku. Tažnost po útku je mnohonásobně menší než po osnově. Pro klinicky používané grafty je však třeba vysoká příčná tažnost. Toto zvlnění je zapříčiněno vyšší dostavou v osnově než v útku.

Tkanina č. 2


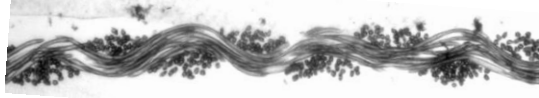

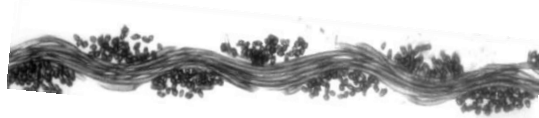
Pro vytkání vzorků Tkaniny č. 2 byl použit polyesterový multifil se stejným počtem fibril, avšak s rozdílnou jemností a způsobem tvarování. Také dostava útku se pro každý vzorek, dle použitého polyesteru, lišila. Popis a označení jednotlivých vzorků je znázorněno v tabulce 4.

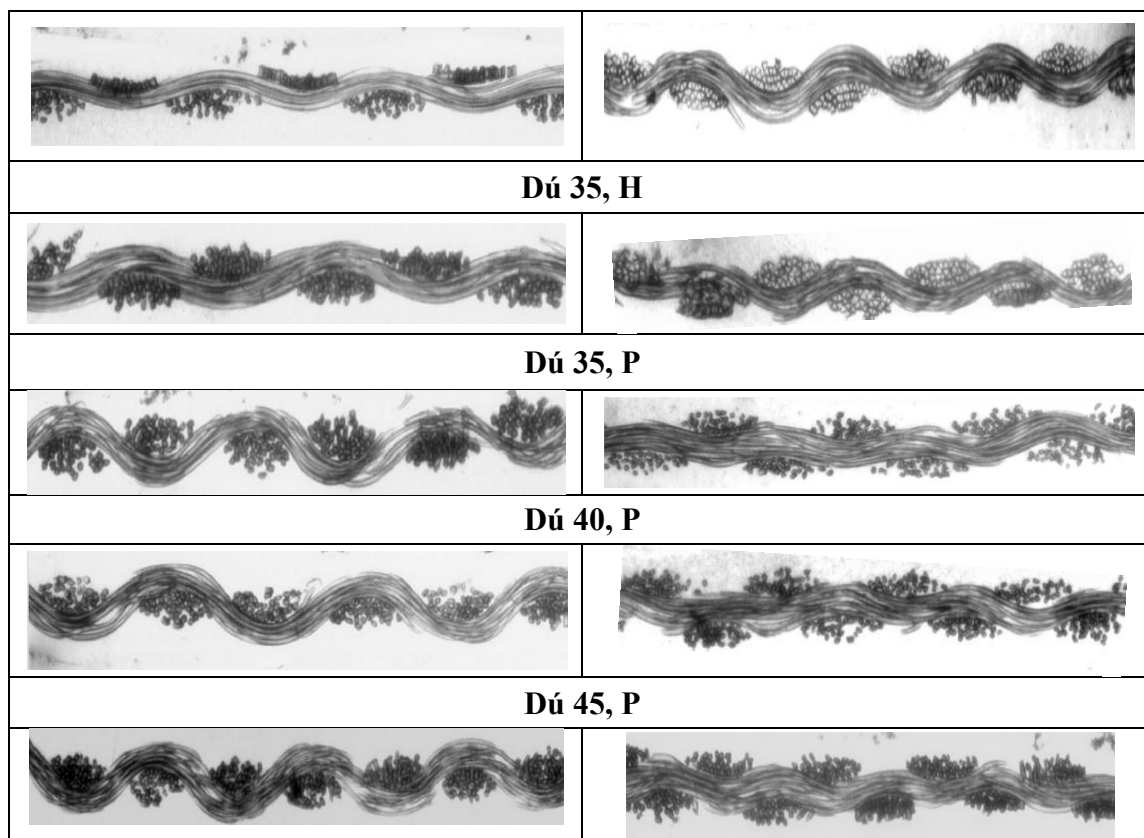
Tabulka 4: Specifikace vzorků Tkaniny č. 2

Tkanina č. 2		
Specifikace vzorku	Jemnost [tex]	Označení
Dú 30n/cm, tvarovaný multifil	10	Dú 30, T
Dú 35n/cm, tvarovaný multifil	10	Dú 35, T
Dú 30n/cm, hladký multifil	10	Dú 30, H
Dú 35n/cm, hladký multifil	10	Dú 35, H
Dú 35n/cm, provířený multifil	8,3	Dú 35, P
Dú 40n/cm, provířený multifil	8,3	Dú 40, P
Dú 45n/cm, provířený multifil	8,3	Dú 45, P

Tkanina č. 2 byla tkána s menší dostavou v osnově, než v útku. Změna zvlnění obou soustav je patrná z Tabulky 5.

Tabulka 5: Příčný a podélný řez vzorky Tkaniny č. 2

Příčný řez (vazná vlna - útek)	Podélný řez (vazná vlna - osnova)
Dú 30, T	
	
Dú 35, T	
	
Dú 30, H	



Zvlnění osnovní a útkové příze bylo odhadnuto z řezů tkaninou. Vzorky s hladkým multifilem v útku dosáhly vyššího zvlnění osnovy než útku, lze tedy předpokládat negativní efekt, že příčná tažnost bude nižší než podélná. Ostatní vzorky dosáhly vyššího zvlnění útku, a budou tedy tažnější v příčném směru. Překlopením mechanických vlastností, tedy snížením zvlnění osnovy než jaké měly vzorky Tkaniny č. 1, bylo dosaženo snížením dostavy osnovy na 28 n/cm a zvýšením dostavy útku na 30 – 45 n/cm.

Tkanina č. 3

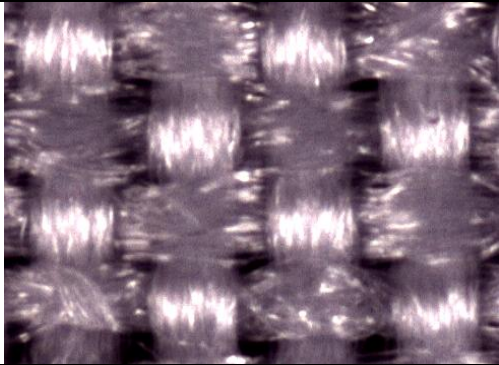
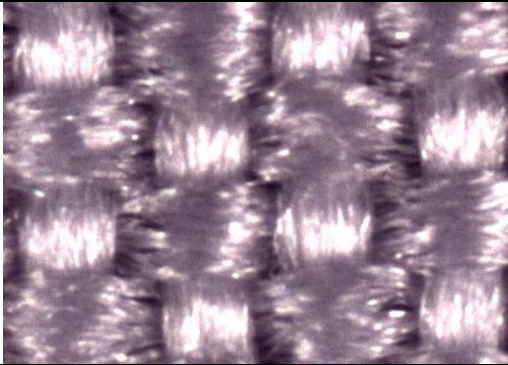
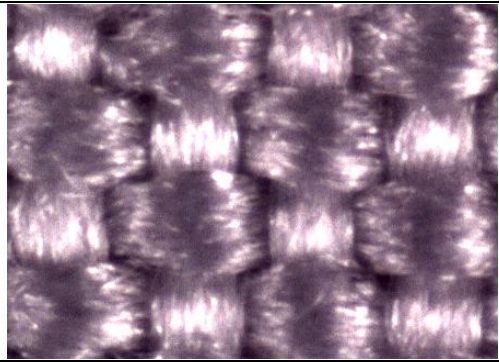
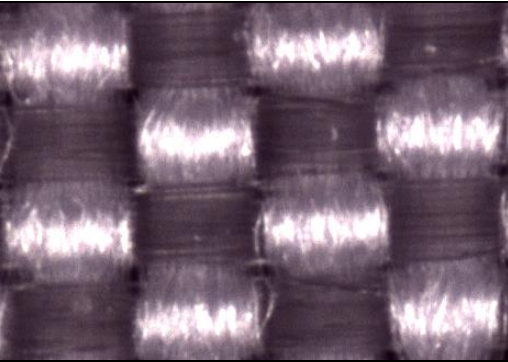
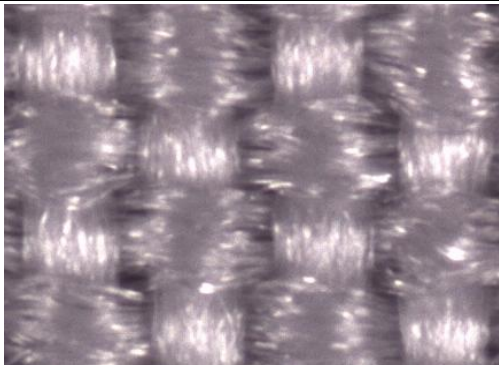
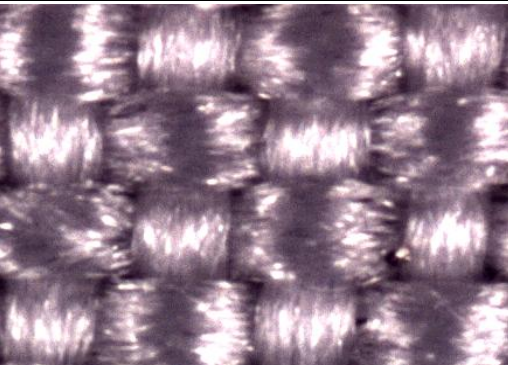
Tkanina č. 3 byla tkána ve stejné dostavě útku pro všechny vzorky. Označení dílčích vzorků vychází z rozdílných jemností, počtu fibril i způsobu tvarování použitého multifilu do útku, viz tabulka 6.

Pro jednotlivé vzorky Tkaniny č. 3 byl pořízen plošný snímek pomocí mikroskopu a obrazové analýzy (viz Tabulka 7).

Tabulka 6: Specifikace vzorků Tkaniny č. 3

Tkanina č. 3		
Specifikace vzorku	Jemnost [tex]	Označení
Provířený útek, 36 fibril	8,3	36f, H
Tvarovaný útek, 72 fibril	7,5	72f, T
Tvarovaný útek, 144 fibril	7,5	144f, T
Hladký útek, 36 fibril	10	36f, H
Tvarovaný útek, 36 fibril	10	36f, K
Provířený útek, 96 fibril	10	96f, P

Tabulka 7: Plošné snímky vzorků Tkaniny č. 3

8,3 tex, 36f, P	7,5 tex, 72f, T
	
7,5 tex, 144f, T	10 tex, 36f, H
	
10 tex, 36f, T	10 tex, 96f, P
	

5.1 Plošná hmotnost membrány

Vzhledem k malému množství materiálu, nebylo možné vzorky Tkaniny 1. a 2. měřit gravimetrickou metodou. Byla tedy u nich spočítána dostava osnovy a útku po fixaci, a dle vztahu (11) vypočítána plošná hmotnost, viz tabulka 8 a 9.

Zjišťování dostavy, spočívalo v umístění vzorku tkaniny pod mikroskop, přiložení milimetrového papíru a zjištění počtu nití na jednom centimetru. Bylo pořízeno celkem 5 hodnot z různých míst tkaniny. Hodnoty dostav vycházely jednoznačně, nebylo je tedy třeba statisticky vyhodnocovat. Stejným způsobem byla vypočítána plošná hmotnost i pro vzorky Tkaniny č. 3 (viz tabulka 10), které byly dále i testovány gravimetrickou metodou a hodnoty byly následně porovnány.

Tabulka 8: Plošná hmotnost vzorků Tkaniny č. 1

Tkanina č. 1					
Vzorek	Jemnost [tex]		Dostava po fixaci [n/cm]		Plošná hmotnost [g/m ²]
	Osnova	Útek	Osnova	Útek	
Dú 10	10	10	46	15	61
Dú 12	10	10	45	16	61
Dú 20	10	10	45	24	69
Dú 25	10	10	44	28	72
Dú 30	10	10	44	33	77

Tabulka 9: Plošná hmotnost vzorků Tkaniny č. 2

Tkanina č. 2					
Vzorek	Jemnost [tex]		Dostava po fixaci [n/cm]		Plošná hmotnost [g/m ²]
	Osnova	Útek	Osnova	Útek	
Dú 30, K	10	10	30	33	63
Dú35, K	10	10	30	38	68
Dú30, H	10	10	29	34	63
Dú35, H	10	10	29	38	67
Dú35, P	10	8,3	31	39	70
Dú 40, P	10	8,3	30	43	73
Dú 45, P	10	8,3	30	48	78

Plošná hmotnost vzorků Tkaniny č. 3 byla zjišťována gravimetrickou metodou dle normy ČSN EN 12127. Kruhové vzorky o průměru 6,5 cm byly zváženy na analytických vahách. Pro každý vzorek bylo provedeno 10 vážení, s přesností na setinu miligramu,

poté byly hodnoty statisticky vyhodnoceny, viz příloha 1. V tabulce 10 je zaznamenána experimentálně zjištěná průměrná hodnota a její 95% interval spolehlivosti.

Tabulka 10: Plošná hmotnost vzorků Tkaniny č. 3

Tkanina č. 3						
Vzorek	Jemnost [tex]		Dostava po fixaci [n/cm]		Teoreticky zjištěná plošná hmotnost [g/m ²]	Experimentálně zjištěná plošná hmotnost [g/m ²]
	Osnova	Útek	Osnova	Útek		
36 f, P	7,5	8,3	30	42	57,4	61,9 <61,4 ; 62,4>
72 f, T	7,5	7,5	31	42	54,8	60,5 <59,9 ; 61,1>
144 f, T	7,5	7,5	31	43	55,5	64,6 <64,2 ; 65,1>
36 f, H	7,5	10	31	42	65,3	75,9 <74,7 ; 77,1>
36 f, T	7,5	10	29	42	63,8	74,1 <73,5 ; 74,7>
96 f, P	7,5	10	30	42	64,5	77,5 <76,8 ; 78,2>
Referenční graft	10	10	64	44	108	-

Při porovnání hodnot plošné hmotnosti vzorků Tkaniny č. 3 získaných výpočtem a gravimetrickou metodou (tabulka 10) je patrné, že výsledky teoretického zjištění plošné hmotnosti jsou mnohem nižší než při experimentálním měření. Teoretický výpočet vycházel ze vztahu (11), kde byl zanedbán vliv setkání jednotlivých soustav.

Z experimentálně zjištěných hodnot vzorků Tkaniny č. 3 je zřejmé, že se jedná o velmi lehké tkaniny, což je i z ekonomického hlediska výhodné. U Referenčního graftu nebyla experimentálně zjištěna plošná hmotnost. Teoretická hodnota je téměř dvojnásobná oproti vzorkům tkaniny, což bylo způsobeno velmi vysokou dostavou v osnově i útku.

5.2 Tloušťka membrány

Experimentální stanovení tloušťky textilie bylo prováděno dle normy ČSN EN ISO 5084, měření bylo realizováno na přístroji FF-27 nazývaném tloušťkoměr. Metoda měření spočívala ve vložení vzorku tkaniny, mezi přitlačnou horní a statickou dolní čelist přístroje. Plocha každé čelisti činila 10 cm². Po začátku měření, tedy spuštění horní čelisti na tkaninu, byl přístroj ponechán 30 vteřin v klidu, aby se ustálil. Přítlak čelisti byl dle [8] nastaven na 0,1 kPa. Pro každou sérii vzorků bylo měření opakováno celkem 10 krát. Stanovení tloušťky probíhalo vždy na různých místech tkaniny a nejméně 2 cm od okraje

tkaniny. Získané hodnoty byly statisticky vyhodnoceny, viz příloha 2, 3 a 4. V tabulce 11, 12 a 13 je zaznamenána průměrná hodnota a 95% IS.

Tabulka 11: Tloušťka vzorků Tkanina č. 1

Tkanina č. 1		
Vzorek	Jemnost [tex]	Tloušťka [mm] – průměrná hodnota a 95% IS
Dú 10	10	0,465 <0,459 ; 0,471>
Dú 12	10	0,409 <0,405 ; 0,413>
Dú 20	10	0,27 <0,265 ; 0,275>
Dú 25	10	0,21 <0,207 ; 0,217>
Dú 30	10	0,191 <0,186 ; 0,196>

Klinicky používané tkané grafty mohou mít dle normy ISO 7198:1998 [8] tloušťku stěny maximálně 0,38 mm. Vzorky Dú 10 a Dú 12 jsou nad horní hranicí tloušťky, avšak zbylé vzorky Dú 20, Dú 25 a Dú 30 tento limit bez problému splňují.

Tabulka 12: Tloušťka vzorků Tkaniny č. 2

Tkanina č. 2		
Vzorek	Jemnost [tex]	Tloušťka [mm] – průměrná hodnota a 95% IS
Dú 30, T	10	0,213 <0,208 ; 0,218>
Dú 35, T	10	0,220 <0,217 ; 0,223>
Dú 30, H	10	0,176 <0,173 ; 0,179>
Dú 35, H	10	0,150 <0,146 ; 0,154>
Dú 35, P	8,3	0,210 <0,207 ; 0,213>
Dú 40, P	8,3	0,198 <0,196 ; 0,200>
Dú 45, P	8,3	0,201 <0,197 ; 0,205>

Z Tabulky 12 je patrné, že vzorky Tkaniny č. 2 mají mnohem nižší naměřenou tloušťku než je povolená maximální hodnota.

Na základě vztahu (13) byla pro vzorky Tkaniny č. 3 stanovena teoretická hodnota tloušťky textilních membrán. Protože nebyla známa hodnota zploštění multifilu ve

tkanině, byl stanoven interval, kde spodní mez byla pro velmi zploštělý multifil válcového tvaru $\beta=0,5$, a horní hranice pro multifil kruhového průřezu $\beta=1$.

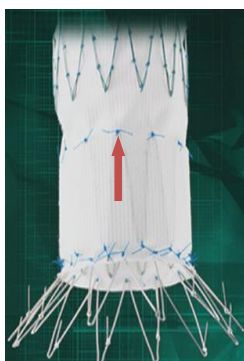
Tabulka 13: Tloušťka vzorků tkaniny č. 3

Tkanina č. 3				
Vzorek	Jemnost [tex]	Teoreticky zjištěná hodnota tloušťky [mm]		Experimentálně zjištěná hodnota tloušťky [mm] – průměr a 95% IS
		Zploštění $\beta=0,5$	Zploštění $\beta=1$	
36f, P	8,3	0,106	0,212	0,158 <0,156 ; 0,160>
72f, T	7,5	0,104	0,208	0,172 <0,170 ; 0,174>
144f, T	7,5	0,105	0,210	0,173 <0,170 ; 0,176>
36f, H	10	0,111	0,222	0,132 <0,130 ; 0,134>
36f, T	10	0,115	0,230	0,197 <0,194 ; 0,197>
96f, P	10	0,112	0,225	0,184 <0,181 ; 0,187>
Referenční graft	10	0,118	0,235	0,131 <0,129 ; 0,133>

Při pohledu do tabulky 13 je patrné, že experimentálně zjištěné hodnoty spadají do stanoveného intervalu vypočteného na základě teoretického modelu. Zploštění daného multifilu lze přibližně odhadnout.

Referenční graft a vzorky Tkaniny č. 3 mají mnohem nižší hodnotu tloušťky než je povolená horní hranice tloušťky stěny klinicky používaných graftů 0,38mm.

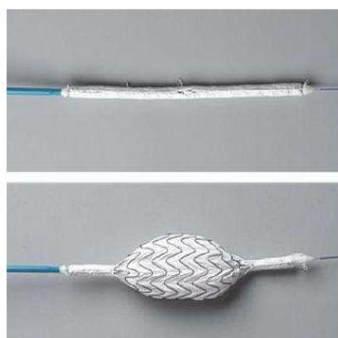
V žádné literatuře není dostupná informace o minimální tloušťce stěny graftu. Avšak při velmi malé tloušťce protézy, může nastat defekt při našívání graftu na stent - kovovou či tuhou plastovou nosnou konstrukci. Kritická oblast je v místě spojení graftu a stentu pomocí švu (obr. 33).



Obr. 33: Našívání stentu na graft

Defekt způsobený našíváním je velmi těžko odhalitelný, a zpravidla bývá detekován až při implantaci stentgraftu, do poškozeného cévního řečiště. Obdobný problém může nastat také při dilataci stentgraftu.

Před implantací je stentgraft vsouván do dilatátoru, či na balónkový katétr (více v kapitole 1.3.2 Zavádění stentgraftu), kde dochází ke složení a maximálnímu zmenšení jeho konstrukce (obr. 34 nahoře). Po zavedení dilatátoru do požadovaného místa v poškozeném cévním řečišti, je stentgraft postupně vysouván ven. V případě balónkového katétru se jedná o postupné nafukování balónku, až do dosažení původního tvaru stentgraftu (obr. 34 dole). Kovová konstrukce má tendenci, rychle nabývat svého původního tvaru, a v případě že je stěna graftu velmi tenká, může ji stent v místě některého švu prorazit. Při zjištění mechanického poškození je graft dále nepoužitelný.



Obr. 34: Postupné nafukování
balónkového katétru

V případě, že by experimentálně vyrobený graft měl tloušťku příliš malou, a nesplňoval by podmínky pro našití stentgraftu je možné zvýšit tloušťku stěny následujícími způsoby. Prvním způsobem je použití multifilu nižší jemnosti, s fibrilami o větším průměru. Další možností je vytkáni víceútkové tkaniny, či dvojnásobné dutinné tkaniny spojivé.

5.3 Plošné zakrytí

Experimentální zjištění hodnoty plošného zakrytí textilních membrán bylo prováděno dle normy IN 23-107-01/01. Plošné zakrytí vyjadřuje poměru mezi vzduchovými póry a celkovým obsahem materiálu ve tkanině. Měření bylo prováděno pomocí obrazové analýzy Lucia G, která pracuje se softwarem Nis Elements 3.2. Jednotlivé obrazy byly pořizovány pomocí mikroskopu a snímací digitální kamery. Před začátkem měření bylo třeba nastavit optimální zvětšení mikroskopu a provést kalibraci obrazu. Toto nastavení bylo pro všechna měření stejné. Aby bylo zajištěno správné prosvěcování vzorku, vkládá se tkanina mezi podložní a přitlačné sklíčko mikroskopu. U každého vzorku bylo

pořízeno 30 snímků z různých míst textilní membrány. Po nasnímání dostatečného počtu obrazů se musí provést tzv. prahování. Jedná se převedení barevného RGB obrazu na obraz šedotónový a následně pak na binární. Pomocí binárního obrazu, lze vypočítat obsah pórů ve tkanině. Získané hodnoty byly dále statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 14: Plošné zakrytí Tkaniny č. 1 – průměrná hodnota a 95% IS

Tkanina č. 1		
Vzorek	Jemnost [tex]	Experimentální hodnota plošného zakrytí [%] – průměr a 95% IS
Dú 10	10	96,7 <96,5 ; 96,9>
Dú 12	10	96,9 <96,8 ; 97,0>
Dú 20	10	98,5 <98,4 ; 98,6>
Dú 25	10	99,2 <99,2 ; 99,3>
Dú 30	10	99,7 <99,6 ; 99,7>

Tabulka 15: Plošné zakrytí Tkaniny č. 2 – průměrná hodnota a 95% IS

Tkanina č. 2		
Vzorek	Jemnost [tex]	Experimentální hodnota plošného zakrytí [%] – průměr a 95% IS
Dú 30, T	10	98,1 <98,0 ; 98,1>
Dú 35, T	10	98,8 <98,8 ; 98,9>
Dú 30, H	10	97,4 <97,4 ; 97,5>
Dú 35, H	10	97,9 <97,8 ; 98,0>
Dú 35, P	8,3	98,0 <97,9 ; 98,1>
Dú 40, P	8,3	98,8 <98,8 ; 98,9>
Dú 45, P	8,3	99,4 <99,3 ; 99,4>

Teoretická hodnota plošného zakrytí vzorků Tkaniny č. 3 byla stanovena na základě teoretického modelu vypočteného dle vztahu (15). Stejně jako v případě tloušťky, nebyla

známa hodnota rozšíření multifilu ve tkanině. Byl stanoven interval, kde spodní mez reprezentoval multifil kruhového průřezu $\alpha=1$, horní mez zastupoval multifil válcového průřezu s hodnotou rozšíření $\alpha=1,5$.

Tabulka 16: Plošné zakrytí Tkaniny č. 3 – průměrná hodnota a 95% IS

Tkanina č. 3				
Vzorek	Jemnost [tex]	Teoretická hodnota plošného zakrytí [%]		Experimentální hodnota plošného zakrytí [%] – průměr a 95% IS
		Rozšíření $\alpha=1$	Rozšíření $\alpha=1,5$	
36f, P	8,3	72,2	108	96,7 <96,4 ; 97,0>
72f, T	7,5	70,1	105	99,6 <99,6 ; 99,7>
144f, T	7,5	71,4	107	99,9 <99,8 ; 99,9>
36f, H	10	76,3	114	99,1 <99,1 ; 99,2>
36f, T	10	76,9	116	99,3 <99,3 ; 99,4>
96f, P	10	77,2	119	99,98 <99,97 ; 99,99>
Referenční graft	10	97,9	145,8	99,99 <99,99 ; 100>

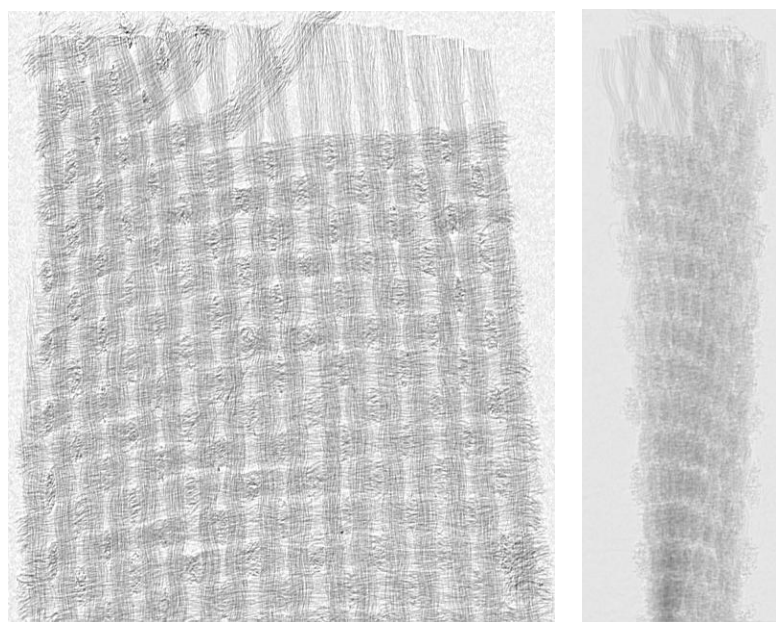
Experimentálně zjištěné hodnoty spadají do stanovených mezí intervalu. Při pohledu na teoretické výsledky zakrytí při hodnotě rozšíření 1,5 je evidentní, že hodnoty jsou nad 100%, lze tedy předpokládat, že vzorky nemohou dosáhnout takto velkého rozšíření multifilu ve tkanině.

Z výsledků naměřených hodnot v tabulkách 14-16 je patrné, že nejnižší data byla naměřena u vzorku Dú 10 Tkanina č. 1, kde hodnota plošného zakrytí byla 96,7 % a nejvyšší naměřená hodnota byla u Referenčního graftu, kde zakrytí činilo 99,99 %. Naměřené hodnoty mají mezi sebou opravdu minimální rozdíl. Hodnota plošného zakrytí se blíží 1. To znamená, že vytkané textilní membrány obsahují minimální množství pórů a maximální podíl hmoty ve tkanině.

Naměřená data předpovídají výborné výsledky při testování propustnosti textilních membrán, ale horší podmínky pro prorůstání buněčných organismů stěnou graftu.

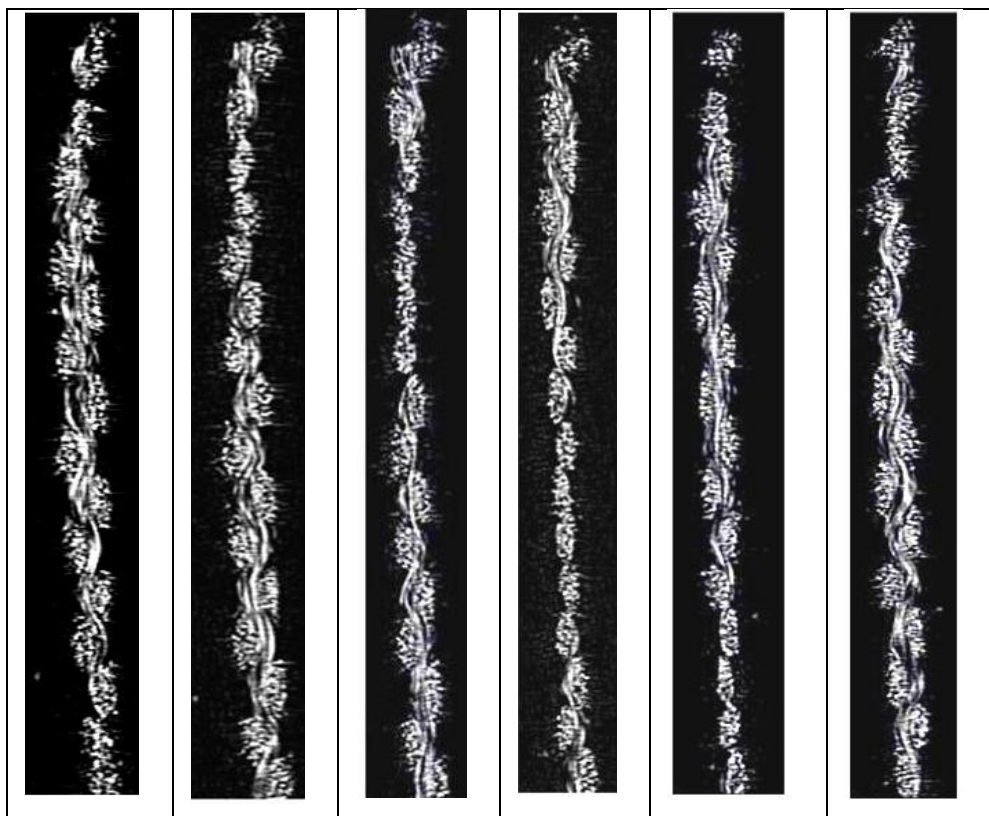
5.4 Objemová porosita

Experimentální hodnota objemové porosity byla zjištěna pomocí metody počítačové mikrotomografie tzv. micro CT. Tato metoda je nedestruktivní, testované vzorky není třeba pro zpevnění zalévat do lepidla, tak jako tomu je u stanovování příčného a podélného řezu tkaninou. Pomocí micro CT se zjišťuje vnitřní struktura v trojrozměrném zobrazení. Objemová porosita se stanovuje na základě tomografického obrazu, který se skládá z mnoha RTG snímků. Snímky se pořizují pomocí microtomografu SKY-SCAN 1272 High-Resolution X-Ray Microtomograph, který je složen z rentgenky a detektoru. Princip testování spočívá ve vložení vzorku do přístroje, vzorek se otáčí kolem své osy a pomocí rentgenového záření jež vysílá rentgenka je prosvětlován, detektor přijímá prosvícený obraz a jako digitální signál ho vysílá do počítačového softwaru. Dle hustoty tkaniny se volí intenzita rentgenového záření, pro méně proniknutelnější membránu se volí vyšší dávka záření. Snímky tkaniny jsou zachycovány přibližně po 1° pootočení vzorku (obr. 35).



Obr. 35: Snímky otáčející se tkaniny,
vlevo 0° pootočení, vpravo 75° pootočení

Pořízené snímky pomyslného řezu (obr. 36), se pomocí počítačového softwaru nakalibrují, následně naprahují a poté se určí podíl vzduchu a materiálu ve tkanině.



Obr. 36: Snímky vnitřní struktury vzorku 7,5tex, 144f, T

Na obr. 35 jsou zachyceny pomyslné podélné řezy tkaninou, kde je vazná vlna osnova, kuličky jsou útek. Snímky řezů zleva zachycují postup vazné vlny a změny pozice útkových multifilů dle vazby plátno. Na jednotlivých snímcích byl obkreslen obrys řezu a pomocí software byl vypočítán objem vzduchu a objem materiálu (Tabulka 17). Vzhledem k časové náročnosti byla experimentálně zjištěná hodnota pouze pro vzorek jemnosti 7,5 tex, 144 fibril, tvarovaný. Výsledný objem textilního materiálu činil 79,23 % a hodnota vzduchových pórů byla 20,77%.

Teoretická hodnota objemové porosity byla vypočítána dle vztahu (16), která vychází z hodnoty tloušťky tkaniny. Pro výpočet byly dosazeny hodnoty tloušťky se zploštěním multifilu hodnoty 0,5 a 1 (viz tabulka 13).

Tabulka 17: Objemová porosita vzorků Tkaniny č. 3

Tkanina č. 3			
Vzorek	Jemnost [tex]	Teoretická hodnota objemové porosity [%] – průměr a 95% IS	
		Tloušťka při zploštění $\beta=0,5$	Tloušťka při zploštění $\beta=1$
36f, P	8,3	59,0	79,5
72f, T	7,5	59,9	79,9
144f, T	7,5	60,0	80,0
36f, H	10	55,4	77,0
36f, T	10	58,0	79,0
96f, P	10	56,6	78,3
Referenční graft	10	44,7	72,2

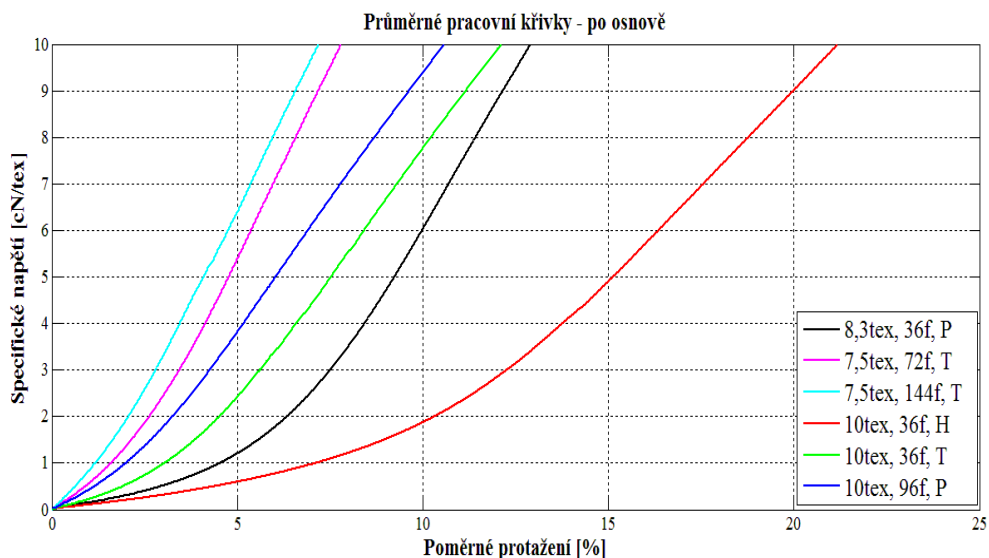
Vzhledem k absenci experimentálních hodnot, nelze posoudit zdali výsledky spadají do stanoveného intervalu. Výsledné hodnoty z měření propustnosti napovídají, že by se objemová porosita vzorků mohla pohybovat blíže horní hranici intervalu. Čím vyšší je hodnota objemové porosity, tím více je tkanina zaplněna textilním materiálem s malým podílem vzduchových pórů.

5.5 Jednoosé namáhání – pevnost a tažnost

Měření pevnosti a tažnosti probíhalo dle normy EN ISO 13934 na přístroji dynamometr Testometric. Vzorky byly vystřiženy z různých míst tkaniny, tak aby neměli společné osnovní ani útkové příze. Stříhat bylo možné nejméně 50 mm od kraje tkaniny. Připravené vzorky byly o rozměrech 300 x 60 mm, šířka vzorku byla po vyparání 5 mm na obou podélných stranách, upravena na 50 mm. Následně byly dle normy ČSN EN 20139 uloženy na 24 hodin do klimatizační místnosti.

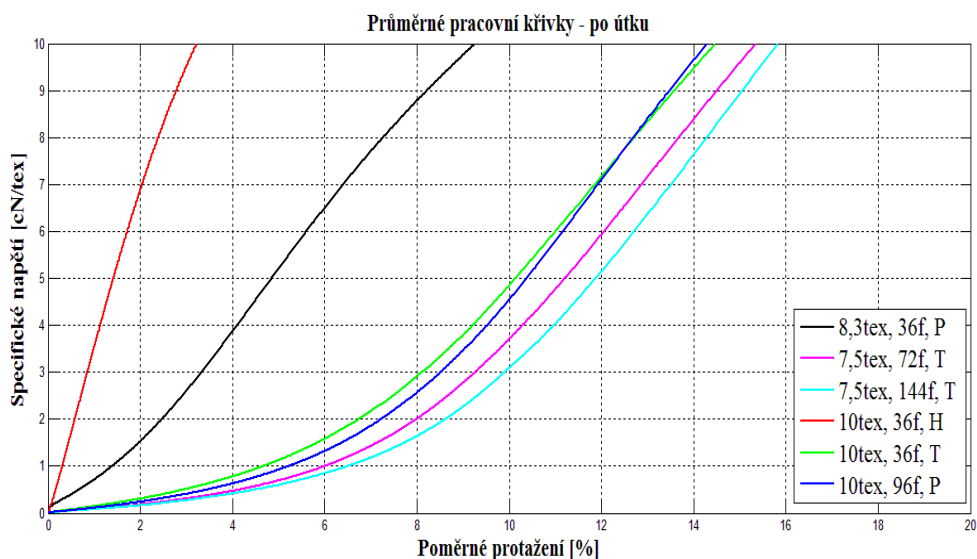
Přístroj pracuje s dvojicí pneumatických čelistí. Před začátkem zkoušky byla stanovena upínací délka 200 mm. Po upnutí vzorku do horní a následně dolní čelisti, proběhlo namáhání vzorku do porušení. Rychlost zkoušky byla 100 mm/min. V jednom případě došlo k přetrhu vzorku v oblasti čelistí, tato zkouška byla prohlášena za neplatnou a měření muselo být opakováno. Měření proběhlo vždy 5x po útku a 5x p osnově. Změřené hodnoty byly statisticky vyhodnoceny. A pomocí skriptu v programu Matlab pořízeny

průměrné tahové křivky jednotlivých tkanin při namáhání po osnově (obr. 37) a po útku (obr. 38).



Obr. 37: Průměrné tahové křivky namáhání po osnově

Při trhací zkoušce v jednoosém namáhání nebyla nejdůležitějším parametrem maximální pevnost a tažnost v přetrhu, ale počáteční tažnost (obr. 37). Nejvyšší počáteční tažnost ve směru osnovy prokázal vzorek s hladkým multifilem v útku. A poměrně vysoké hodnoty dosáhl také vzorek 8,3 tex, 36 fibril, provířený. U těchto vzorků tkanin zřejmě došlo k vyššímu zvlnění osnovy než útku, což vedlo k jejich vyšší tažnosti v podélném směru. Ostatní vzorky vykazují nízkou hodnotu počáteční tažnosti ve směru po osnově, lze tedy předpokládat, že zvlnění osnovy je menší než útku.



Obr. 38: Průměrné tahové křivky namáhání po útku

Při pohledu na graf obrázku 38 je patrné, že vzorky 10 tex, 36f, hladký a 8,3 tex, 36f, províření, dosáhly velmi nízké hodnoty počáteční tažnosti v příčném směru, tento fakt koresponduje s předpokladem vyššího zvlnění osnovy než útku. Tyto materiály nejsou pro budoucí vytkání graftu vhodné. Ostatní vzorky prokázaly výbornou počáteční tažnost v příčném směru, jsou tedy vhodné pro další použití.

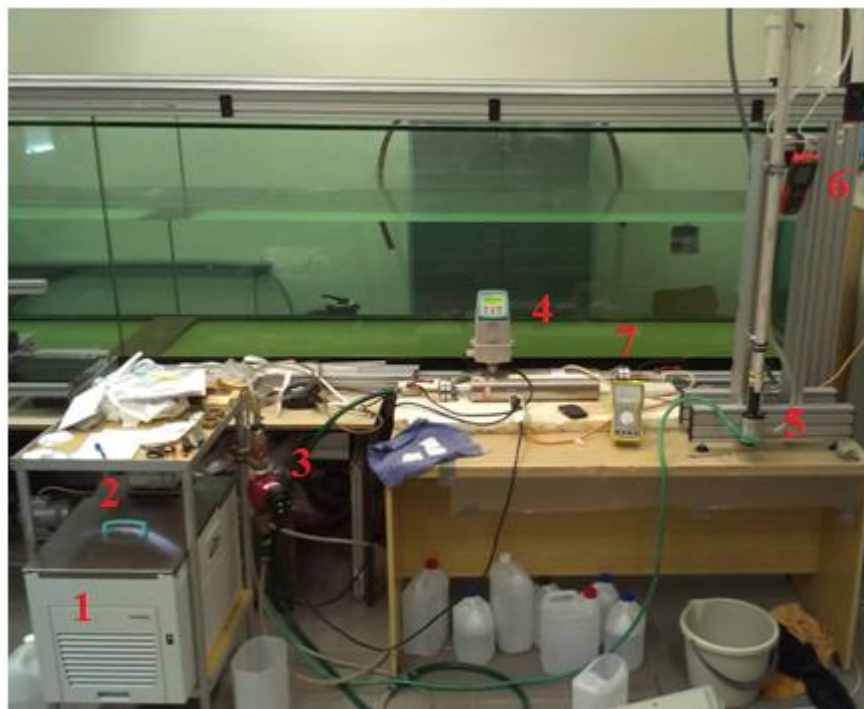
5.6 Stanovení propustnosti membrány pro tekutiny

Propustnost cévní náhrady byla experimentálně měřena na základě stanovených podmínek dle normy ISO 7198:1998 [8]. Propustnost je určována pomocí rychlosti průtoku určitého objemu vody skrz definovanou plochu vzorku. Propustnost textilní membrány je přímo závislá na hodnotě porosity tkaniny. Čím vyšší je objem pórů ve tkanině, tím více bude graftem prosakovat krev. Pro testování klinicky používaných graftů se používá destilovaná voda při hydrostatickém tlaku 16kPa, který odpovídá 120mm Hg, neboli 120 milimetrům rtuťového sloupce. V přepočtu na milimetry vodního sloupce odpovídá tato hodnota 1631 mm H₂O.

Odolnost textilní membrány vůči tlaku destilované vody se měří na speciálním zařízení (obr. 39), které je sestaveno dle požadovaných parametrů normy ISO 7198:1998 [8]. Přístroj musel obsahovat zařízení pro ohřev a transport vody (obr. 40), sestavu zařízení pro měření propustnosti a systém pro uchycení vzorku (obr. 41).

Propustnost se stanovuje v určité ploše vzorku, a to buď na 0,5 – 1,0 cm², či na ploše celého vzorku. Měření v celé ploše vzorku je vhodné, zejména pro měření tubulárních či bifurkačních graftů. Kdy je třeba před samotným měřením vytvořit na koncích graftu voděodolný záhyb, který je zajištěn speciální sponkou proti uvolnění. Poté se do náhrady napojí ventil zajišťující průtok vody a při definovaném tlaku probíhá měření.

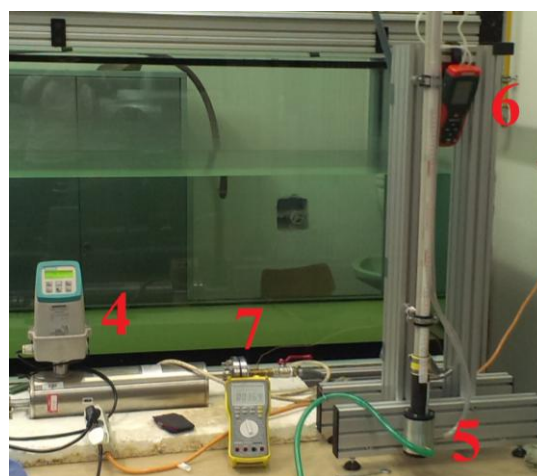
Přístroj pro měření propustnosti vody v malé ploše je složen ze: zařízení pro ohřev destilované vody s výtlačným čerpadlem (1), termostatu (2), pomocného výtlačného čerpadla (3), průtokoměru (4), přitlačných kruhových čelistí pro uchycení vzorku (5), tlakového měřáku (6) a multimetru (7).



Obr. 39: Přístroj pro měření propustnosti



Obr. 40: Zařízení pro ohřev a rozvod vody



Obr. 41: Sestava zařízení pro měření propustnosti

Pro měření bylo připraveno 5 vzorků od každého typu tkaniny. Vzorky měly tvar kruhu s průměrem 7 centimetrů a po stranách byly připraveny otvory pro průchod aretačních šroubů. Před začátkem měření byl přístroj spuštěn na prázdko, tak aby se ohřála destilovaná voda na teplotu $37^{\circ}\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Poté se obě čerpadla vypnula, aby se mohl umístit vzorek do čelistí. Vzorky byly nejdříve položeny do destilované vody a následně nasazeny na aretační šrouby kruhových čelistí. Kruhové čelisti musely být dotaženy velmi pevně, tak aby nedocházelo k prosakování vody kolem vzorku textilní membrány.

Po umístění vzorku byla opět spuštěna obě čerpadla a nastavena hodnota tlaku 16kPa. Testované membrány byly příliš husté, a rozsah průtokoměru takto nízkou hodnotu nebyl schopen zaznamenat, proto musel být průtok změřen pomocí kvadratických vah. Destilovaná voda, která prosakovala membránou byla po dobu 60s \pm 1s napouštěna do nádoby a následně zvážena na připravených vahách. Pomocí přepočtu byl zjištěn průtok v mililitrech za minutu. Dále bylo třeba z průtokoměru zaznamenat hustotu destilované vody. Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny, viz příloha 5. Hodnoty pro jednotlivé vzorky jsou zaznamenány v Tabulce 18 a 19.

Tabulka 18: Hodnota propustnosti vzorků Tkaniny č. 1

Tkanina č. 1			
Vzorek	Jemnost [tex]		Propustnost [ml/cm ² /min] – Průměrná hodnota a 95% IS
	Osnova	Útek	
Dú 10	10	10	4902,0 <4834,8 ; 4969,1>
Dú 12	10	10	4675,1 <4599,3 ; 4750,9>
Dú 20	10	10	1804,4 <1762,3 ; 1846,4>
Dú 25	10	10	989,7 <956,1 ; 1023,2>
Dú 30	10	10	436,1 <419,4 ; 452,9>

Maximální hodnota propustnosti klinicky používaných cévních náhrad je stanovena na 4000 ml/min. Avšak běžně se používají grafty s hodnotou mezi 1200 až 1900 ml/min. Tyto grafty jsou před použitím upravovány, například povrstvením kolagenu, či albuminem. Povrstvení uzavírá prostor mezi fibrilami multifilu, a tak dodatečně snižuje propustnost graftů. Určitá krevní ztráta je žádoucí, příznivě ovlivňuje rychlost prorůstání graftu buňkami. Cévní protézy, které dosahují hodnoty propustnosti pod 800 ml/min, není třeba dodatečně upravovat.

Z testovaných vzorků Tkaniny č. 1 splnily podmínky propustnosti vzorky Dú 20, Dú 25 a Dú 30. Vzorky Dú 10 a Dú 12 byly vytkány ve velice řídké dostavě v útku, ačkoliv bylo zakrytí těchto membrán blízké jedné, muselo být uvnitř struktury velké množství vzduchových mezer, které poskytly prostor pro prostup destilované vody. Do budoucna není vhodné tkát takto řídké textilní membrány.

Tabulka 19: Hodnota propustnosti vzorků Tkaniny č. 3

Tkanina č. 3			
Vzorek	Jemnost [tex]		Propustnost [ml/cm ² /min] – Průměrná hodnota a 95% IS
	Osnova	Útek	
36f, P	7,5	8,3	756,6 <731,5 ; 781,6>
72f, T	7,5	7,5	531,1 <509,3 ; 553,0>
144f, T	7,5	7,5	480,2 <463,4 ; 497,1>
36f, H	7,5	10	497,0 <464,2 ; 529,8>
36f, T	7,5	10	537,7 <517,9 ; 556,5>
96f, P	7,5	10	458,8 <441,1 ; 476,6>
Referenční graft	10	10	192,6

Experimentálně zjištěné hodnoty vzorků Tkaniny č. 3 dosáhly velmi nízké hranice propustnosti, pohybují se pod hranicí 800 ml/min, nejvíce propustný byl vzorek jemnosti 8,3 tex, 36 fibril, provířený. Nejméně propustný byl vzorek jemnosti 10 tex, 96 fibril, provířený. Je možné si povšimnout pouze malých rozdílů v hodnotách propustnosti vzorků s vyšší jemností tedy 7,5 tex a hrubším multifilem jemnosti 10 tex, zřejmě tedy vysoký počet fibril vytvořil prostředí s malým prostorem pro prostup vody. Referenční graft měl opravdu malou hodnotu propustnosti 192 ml/min.

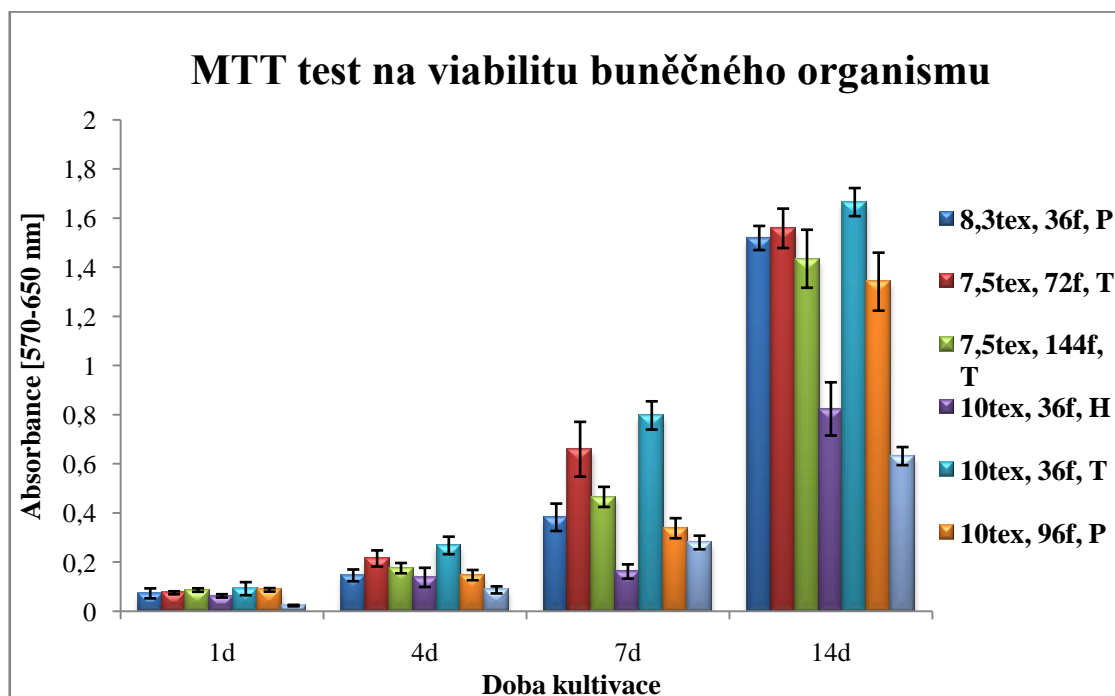
5.7 Kultivace membrány 3T3 myšími fibroblasty

Tkané grafty obecně dosahují vysoké hodnoty plošného zakrytí. Velikost, četnost a distribuce vzduchových pórů má vliv na uchycení buněčného organismu. Bude-li hodnota plošného zakrytí hodně vysoká, graft může poskytovat málo prostoru pro ukotvení buněk. Na kultivaci má také vliv jemnost a počet fibril multifilu. Buňky lépe porůstají fibrily o jemnosti v řádech mikrometrů, fibrily o nižší jemnosti neposkytují dostatečnou plochu pro uchycení buněk.

Pro kultivaci textilní membrány byly použity 3T3 myší fibroblasty, jež jsou základní stavební buňkou vazivové tkáně, vyskytující se v celém těle. Viabilita buněk byla zjišťována pomocí MTT testu a fluorescenční mikroskopií. Elektronová mikroskopie pak posloužila ke zjištění morfologie buněk.

Před samotným in vitro testováním musely být vzorky vysterilizovány. Po dobu 30 minut byly ponořeny do 70% ethanolu, a následně dvakrát opláchnuty fosfátovým pufrém (PBS, Lonza). Připravené vzorky pak mohly být v 24-jamkových destičkách osázeny 3T3 myšími fibroblasty (ATCC). Testování probíhalo po dobu 14 dnů. Viabilita buněk byla zjišťována po 1., 4., 7. a 14. dni kultivace. Buňky byly po dobu testování vyživovány speciálním roztokem (Mediem DMEM, Lonza obohaceném o 10% fetálního bovinního séra a 1% směsi antibiotik a antimykotik), který byl měněn třikrát týdně. Osázené vzorky byly uloženy v inkubátorech při teplotě 37°C a 5% CO₂.

MTT test slouží k vyhodnocení životaschopnosti buněk. MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazolium bromid) je roztok, který indikuje buněčné organismy. Do jamek s osázenými vzorky bylo nalito 250 µl roztoku MTT (Sigma Aldrich) a 750 µl média (DMEM), následně byly vzorky po dobu 4 hodin inkubovány při teplotě 37°. Po inkubaci se z buněk stávají fialové krystaly, které jsou poté rozpuštěny okyseleným isopropanolem. Pomocí softwaru gen 5 je měřena absorbance buněk roztoku. Měření probíhalo při 570 nm a 650 nm vlnové délky. Získané hodnoty jsou zobrazeny pomocí grafu (obr. 42).

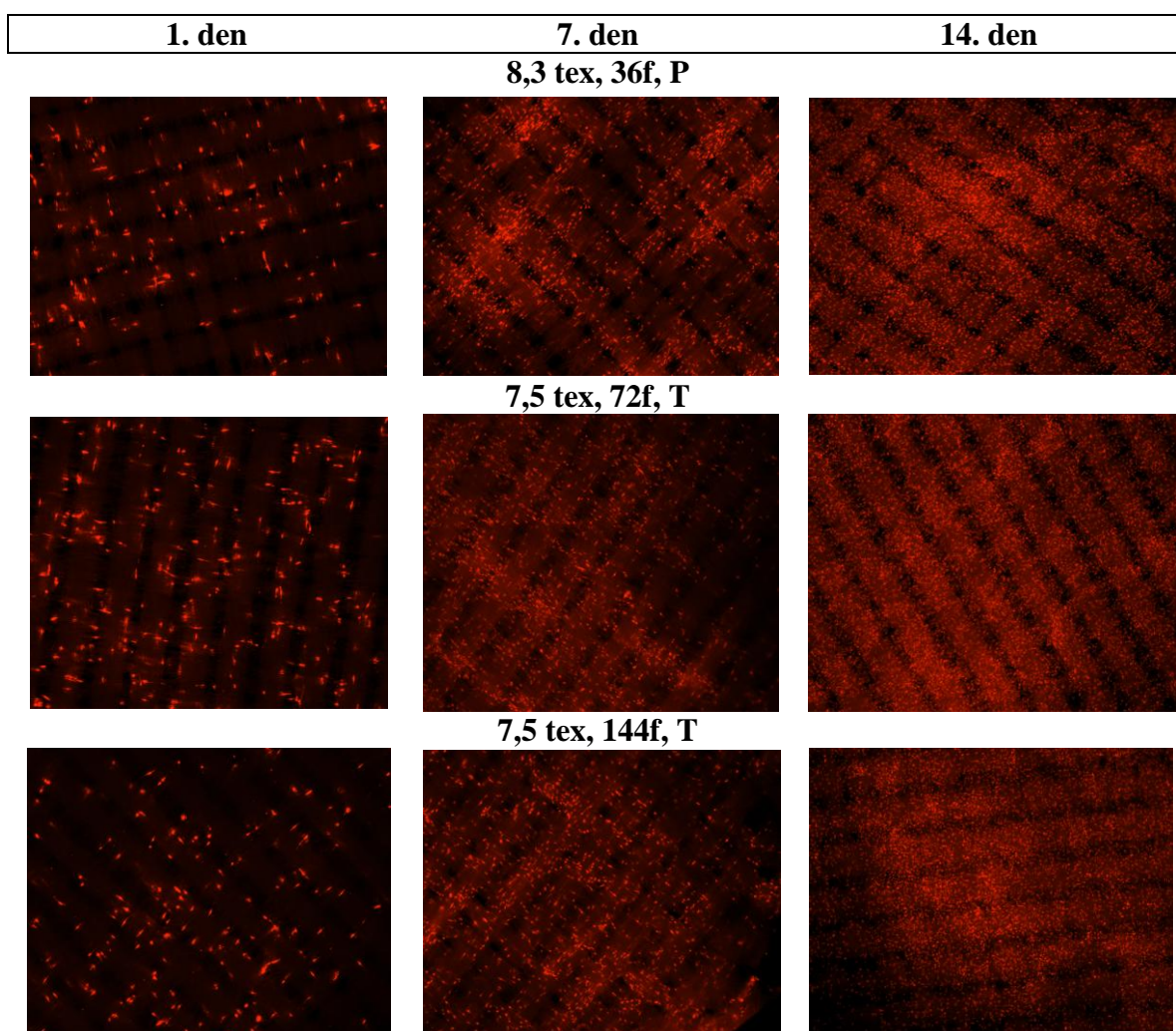


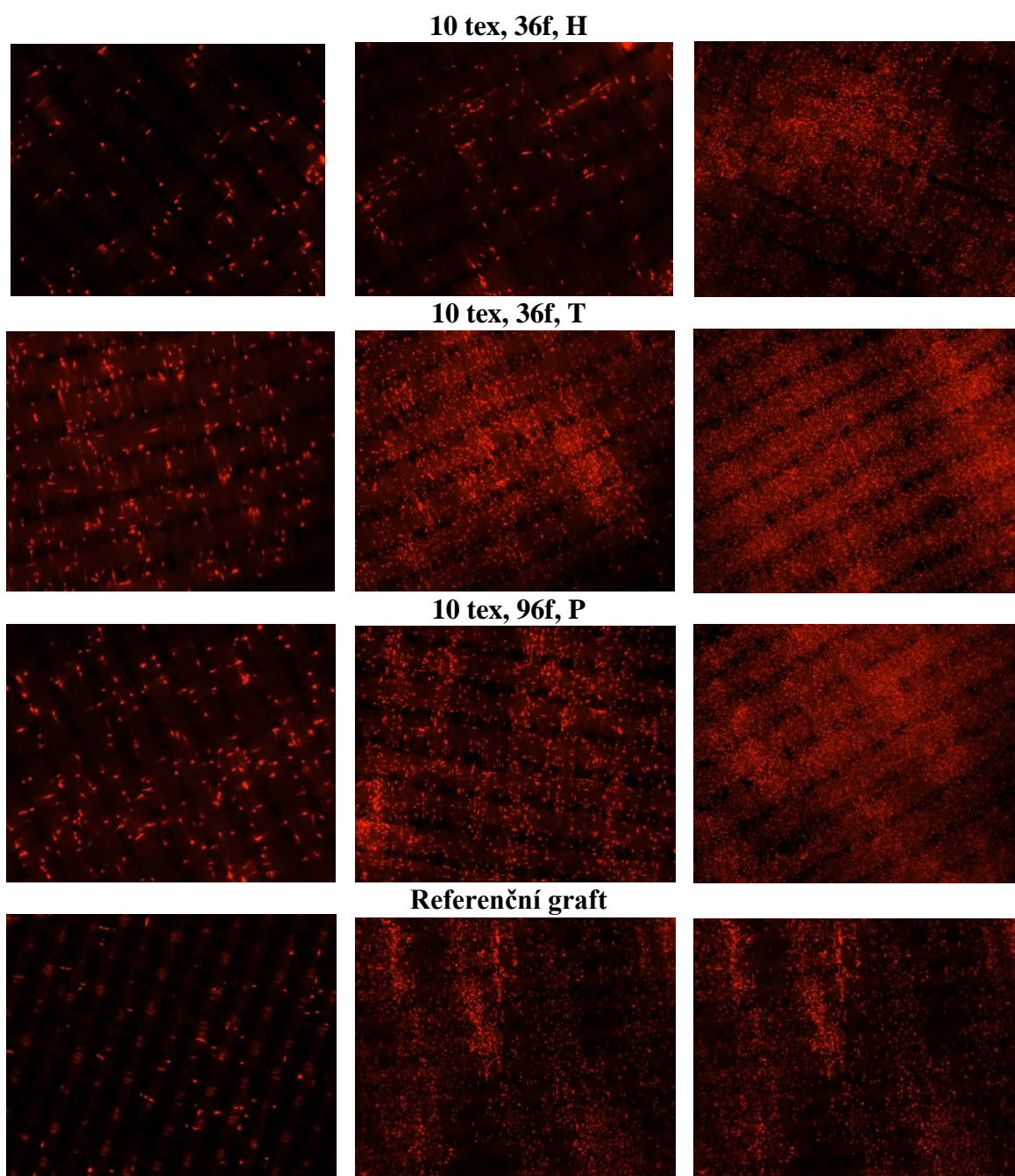
Obr. 42: MTT test viability buněk na textilních membránách

Buněčná viabilita měřená pomocí MTT testu po 1 dni neukazuje na významné rozdíly mezi materiály. Po 4 dnech kultivace byla vyšší buněčná životaschopnost naměřena u

materiálů 7,5 tex, 72 f, tvarovaný a vzorku 10 tex, 36f, tvarovaný, tento rozdíl se ještě prohloubil po 7 dnech kultivace. Vzorky 10tex, 36f, hladký a Referenční graft vykazovaly nejnižší buněčnou viabilitu ve všech testovacích dnech. Nutno zmínit, že vzorek Referenčního graftu byly o něco menší, než vzorky Tkaniny č. 3. S přibývajícím dnem byl pozorován trend zvyšující se aktivity buněčného organismu.

Vzorky určené pro **analýzu fluorescenční mikroskopii** byly dvakrát opláchnuty v PBS fosfátovém pufru a zafixovány ve vymraženém methanolu po dobu 30 minut při -20°C. Následně byly vzorky barveny pomocí propidium jodidu (Sigma Aldrich) po dobu 10 minut ve tmě. Po dvojím opláchnutí v PBS byly vzorky pozorovány invertovaným fluorescenčním mikroskopem Nikon Eclipse Ti-E. Snímky v obrázku 43, jsou pořízeny (zleva) po 1., 7. a 14. dni kultivace.

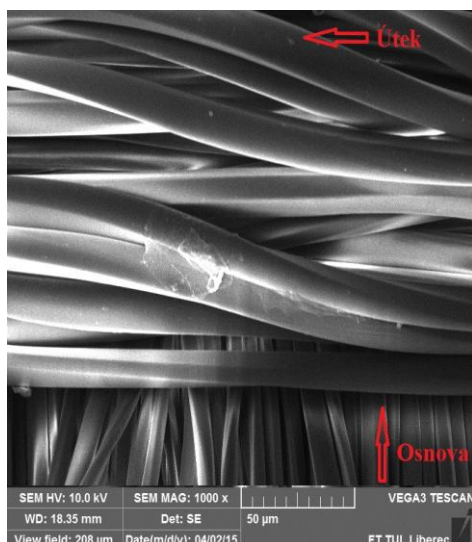




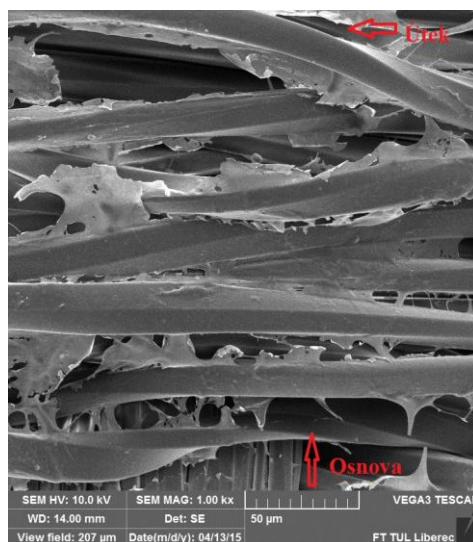
Obr. 43: Vzorky testované pomocí fluorescenční mikroskopie

Snímky z fluorescenční mikroskopie zachycují dobrou buněčnou adhezi na všech testovaných materiálech po 1 dni od nasazení (viz 1. sloupec obr. 43). Během 14- ti denní kultivace se buňky postupně rozmnožovaly a pokryly téměř celý povrch testovaných vzorků. Pouze u vzorku 10 tex, 36 fibril, hladkého a Referenčního graftu byla viabilita a množení buněk v porovnání s ostatními materiály opožděná, jak tomu odpovídají i výsledky MTT testu.

Pomocí **elektronové mikroskopie** byla hodnocena morfologie buněk na testovaných materiálech. Na snímku vzorku 10tex, 36f, T (obr. 44) je zachycena ukotvená buňka, která adherovala na vlákna po 1. dni kultivace. Buňka má protáhlý tvar ve směru fibril. Po 14 dnech kultivace je již velká část povrchu testovaného vzorku pokryta souvislou vrstvou buněk (obr. 45).



Obr. 44: Vzorek 10 tex, 36f, T 1. den kultivace



Obr. 45: Vzorek 10 tex, 36f, T 14. den kultivace

Všechny testované vzorky Tkaniny č. 3 včetně Referenčního graftu podporovaly adhezi a růst 3T3 myších fibroblastů. Všechny testované materiály vykazují biokompatibilitu s myšími 3T3 fibroblasty a mohou být potenciálními kandidáty pro aplikace tkáňového inženýrství.

5.8 Celkové zhodnocení

Vytkané textilní membrány se pohybovaly v oblasti velmi lehkých tkanin, jedná se tedy o ekonomicky výhodné tkaniny. Tloušťka tkanin se pohybovala velmi nízko, Referenční graft dosáhl nejnižší hodnoty. V případě malé tloušťky stěny graftu by mohl nastat problém při zavádění stentgraftu, kdy kovová konstrukce stentu může v místě švu prorazit stěnu graftu. Testované vzorky tkaniny včetně Referenčního graftu dosáhly hodnoty zakrytí bezmála 100 %, jedná se tedy o tkaniny obsahující maximální množství textilního materiálu s minimálním obsahem vzduchových pórů. Malý obsah vzduchových pórů neposkytl dostatek cest pro průchod vody, tkaniny tak dosáhly nízké hodnoty propustnosti s dolní hranicí 450 ml/min. To ovšem nelze srovnávat s Referenčním graftem, který dosáhl opravdu nízké hodnoty propustnosti a to pod hodnotou 200 ml/min.

Ovšem určitá krevní ztráta je potřeba, podporuje růst buněčného organismu. Tento fakt koresponduje s výsledky kultivace, kde buněčná aktivita na Referenčním graftu byla velmi pomalá. Vzorky Tkaniny č. 3 vykazaly vysokou viabilitu buněk.

Do budoucna by bylo vhodné zvýšit tloušťku vzorků, tak aby se zamezilo defektu při našívání stentgraftu. Propustnost u klinicky používaných graftů se pohybuje v rozmezí 1200 až 1900 ml/min, není tedy do budoucna potřeba tkát textilní membrány s takto vysokou dostavou, upravením dostavy se také sníží plošné zakrytí a objemová porosita tkaniny a zlepši se tím podmínky pro porůstání buněčným organismem. Při testování kultivace buněk na textilních membránách nebyl zjištěn výrazný vliv vysokého počtu 144 fibril na zlepšení podmínek prorůstání buňkami. Není tedy potřeba tkát textilní membrány s takto vysokým počtem fibril, například 72 fibril by mělo být dostačující. Nevhodným materiálem pro další použití se ukázal být hladký multifil, který vykazoval nízkou počáteční tažnost, a jeho hladký povrch znesnadňoval ukotvení buněčného organismu. Dalším nevhodným materiálem byl 8,3 tex, 36 fibril, provířený, který byl také velmi tuhý.

Možný způsob hodnocení tkaných struktur aplikovaných v cévních protézách

Stěžejní pro hodnocení textilní membrány stále zůstává norma ISO 7198:1998 *Cardiovascular implants – Tubular vascular prostheses*, tkaniny jež jsou potencionálními kandidáty na výrobu cévních náhrad, musí splňovat požadavky této normy. Do budoucna je ovšem vhodné hodnotit také dle **struktury** a **konstrukce** tkaniny.

Struktura tkaniny je charakterizována pomocí plošné a prostorové geometrie. Z hlediska plošné geometrie se jedná o hodnocení na základě vstupního materiálu. Multifil o určité jemnosti a počtu fibril má přímý vliv na plošnou hmotnost, tloušťku stěny graftu, plošné zakrytí i objemovou porositu, také na propustnost pro tekutiny a zejména na porůstání textilní membrány buněčným organismem. Způsob tvarování multifilu ovlivňuje především tažnost tkaniny, objemovou porositu a schopnost kultivace buněk na textilní membráně. Dostava a vazba tkaniny ovlivňuje všechny dříve zmíněné charakteristiky.

Z hlediska prostorové geometrie se pak jedná o vliv zvlnění tkaniny, které je zejména ovlivněno dostavou tkaniny. U graftů je požadovaná vysoká příčná tažnost, je tedy nutné tkát textilní membrány s vyšší dostavou útku než osnovy.

Přidáním další útkové soustavy do tkaniny se změní její konstrukce, a dojde k výraznému zvýšení tloušťky textilní membrány.

Závěr

Na první pohled může tato práce připomínat jakýsi koloběh, kdy na počátku byla vyrobena první tkanina, která při testování dosahovala výborných výsledků, avšak její vytkáni bylo značně problematické. Práce tedy byla zpět na začátku. Když se chystala výroba druhé tkaniny, bylo jasné, že je třeba eliminovat nedostatky nastalé při tkaní předchozí plošné textilie. Dalším zohledněným faktorem byla požadovaná vyšší tažnost v příčném směru, došlo tedy k úpravě technických parametrů tkaniny. Po utkáni druhé textilie se opět přistoupilo k testování, výsledky byly opravdu velmi dobré, avšak počet měření byl malý, a tedy snadno zpochybnitelný, logickým krokem bylo vytvoření poslední tkaniny, která zajistí dostatečný počet vzorků pro měření.

Předlohou pro tuto práci byl klinicky používaný tkaný graft. Všeobecně je známo, že při léčbě onemocnění velko-průměrových cév, tedy oblasti stehenních tepen a břišní a hrudní aorty, se mnohem více používají grafty pletené. Tkané grafty vynikají nízkou propustností krve v cévním řečišti, a vysokou mechanickou odolností. Tloušťka stěny cévní protézy bývá řádově menší než u pleteného graftu. Mezi nedostatky tkaných graftů patří zejména jejich tuhost, kdy může tlakem docházet k zalomení protézy a omezení průchodu krve. Dalším negativem je nízká porosita, malé množství pórů neposkytuje dostatečný prostor pro uchycení a množení buněk, grafty jsou proto špatně prorůstány buněčnými organismy. V minulých letech byl také problém s třepením krajů cévní protézy, při odstřihnutí požadované délky graftu docházelo k uvolnění a vyklouzávání útkového multifilu, a rozvolnění filamentů v osnově. Tento problém byl již odstraněn řezáním pomocí laseru, kde byla protéza oddělena s precizní přesností a zároveň působením vysoké teploty laseru, dochází k zatavení kraje.

S ohledem na znalost těchto pozitivních i negativních vlastností tkaného graftu, se přistoupilo k navržení konstrukce a následnému vytkáni textilní membrány. Pro zjištění vlastností hotových tkanin bylo vybráno celkem sedm testovacích metodik. Z hlediska plošné hmotnosti bylo zjištěno, že vyrobené textilní membrány spadají do oblasti lehkých tkanin, což je z ekonomické stránky výroby velmi výhodné. Druhým velmi důležitým testovacím kritériem byla tloušťka tkaniny. Vyrobené textilní membrány dosahovaly opravdu nízkých hodnot. Nedá se jednoznačně říci, jestli je to pozitivní, či negativní výsledek. Hodnoty zakrytí tkaniny se blížily jedné, to znamená, že textilní membrány

byly tvořeny převážně textilním materiálem s minimálním obsahem vzduchových pórů. Zakrytí je plošná charakteristika, pro získání prostorového pohledu bylo třeba změřit objemovou porositu. Hodnoty objemové porosity prokázaly vysoký objem textilního materiálu a malý podíl vzduchových mezer. Což korespondovalo s hodnotami propustnosti, která byla velmi nízká. Z výsledků jednoosého namáhání multifilu, byla zjištěna vhodnost, resp. nevhodnost některých typů multifilamentů pro další použití. Kritériem pro posouzení byl počáteční modul pružnosti. Z hlediska namáhání tkanin po osnově a po útku, byl sledován vliv dostavy a vstupního materiálu na tažnost v příčném a podélném směru. Poslední metodou testování bylo zjištění viability buněk na textilních membránách. Byl sledován vliv jemnosti a počtu fibril multifilu. Určitá životaschopnost buněk byla prokázána na všech testovaných tkaninách.

Referenční graft byl vytkán z hladkého polyesterového multifilu. Z výsledků testování vyplývá, že pro budoucí použití není tento typ materiálu vhodný. Hladký multifil má vysokou tuhost a jeho kluzký povrch fibril znesnadňuje uchycení buněk. Také dostava referenčního graftu nebyla volena ideálně, dostava osnovy byla o třetinu vyšší než útku, což mělo za následek vysokou tažnost v podélném směru a velmi malou v příčném. Referenční graft byl velice hustý a stoprocentně zaplněný, dosáhl opravdu nízké hodnoty propustnosti a na jeho povrchu byla sledována velmi slabá aktivita buněčného organismu.

Vytvořená textilní membrána dosahuje velmi příznivých výsledků, a jako plošná textilie by mohla být v budoucnu hojně využívána například v oblasti vzduchových, či kapalinových filtrů. Z hlediska prostorových struktur, má velký potenciál klinického využití v oblasti léčby endovaskulárních onemocnění, jako tubulární či bifurkační cévní protéza. Při opakovaném navrhování a vytkávání textilní membrány byly výše zmíněné nedostatky Referenčního graftu eliminovány. Zlepšení užitných vlastností neprovázela vyšší finanční náročnost na výrobu, ba naopak experimentální vzorky byly vytkány s poloviční dostavou osnovy a o něco nižší dostavou v útku, než je tomu u Referenčního graftu, jedná se tedy o výrobu s mnohem nižšími ekonomickými náklady. Otázkou však zůstává tloušťka stěny, která by mohla být příliš nízká. Při dilataci by pak hrozilo proražení stěny graftu stentem. Tloušťka stěny graftu se dá zvýšit použitím multifilu o nižší jemnosti, či obohacením plátnové vazby o doplňkovou nit, která by mohla sloužit jako úchytný bod při našívání stentu. Dále je také možné tkát víceútkovou, či vícenásobnou dutinnou tkaninu se spojkami.

Literatura

- [1] Alberts B, Johnson A, Lewis J, et al.: Fibroblasts and Their Transformations: The Connective - Tissue Cell Family [online]. New York 2002
Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/>
- [2] Angioplastiky koronárních cév a implantace stentů [online]. Ikem 2011
Dostupné z: <http://www.ikem.cz/www?docid=1003993>
- [3] Bachleda P., a kolektiv: Cévní chirurgie [online], Olomouc 2012
Dostupné z: <http://cevni.chirurgie.upol.cz/flipviewerxpress.html>
- [4] Bednář V., Svatoš S.: Vazby a rozborů tkanin I., Praha
- [5] Jakubec, J., Hlavatý, F.: Vazby a rozborů tkanin, 1989
- [6] Hrůza, J.: Filtration- soubor přednášek [online], Liberec 2011
Dostupné z: <http://www.knt.tul.cz/>
- [7] Hrůza, J.: Zlepšování filtračních vlastností, Liberec 2005
- [8] ISO 7198:1998 Cardio vascular implants –Tubular vascular prostheses.
- [9] Kolčavová Sirková, B.: Interní norma č. 13-108-01/01: Definice, Geometrické parametry tkanin, TU v Liberci, 2002
- [10] Kolčavová Sirková, B.: Systém projektování „příze – tkanina“. Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, TU v Liberci, 2004
- [11] Krajíček, M., a kolektiv: Chirurgická a intervenční léčba cévních onemocnění. Grada Publishing a.s., 2007.
- [12] Krška, Z., a kolektiv: Techniky a technologie v chirurgických oborech. Grada Publishing a.s., 2011
- [13] Lukáš, D., a kolektiv: Lékařské textilie 2. díl. Asociace inovačního podnikání ČR, 2008.
- [14] Neckář, B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů [online], Liberec: TUL, 1998

Dostupné z: <http://skripta.ft.tul.cz/> - Skripta elektronická databáze skript

[15] Neckář, B.: Struktura a vlastnosti textilních útvarů- soubor přednášek [online], Liberec 1998

Dostupné z: <http://skripta.ft.tul.cz/> - Skripta elektronická databáze skript

[16] Nosek, S.: Struktura a geometrie tkanin, Liberec 1996

[17] Pospíšil, Z.: Příručka textilního odborníka, SNTL 1971

[18] Vascular Grafts: Textile Structures and Their Performance. ISBN 0 900739 908.

[19] VESELÝ, J.: Endotel, základní funkce a charakteristiky [online], Olomouc 2012

Dostupné z: <http://pfyziolfup.upol.cz/>

[20] X-Ray Microtomographyor Micro-CT: Most Advanced Nondestructive 3D Microscopy [online]

Dostupné z: <http://www.skyscan.be/>

Seznam obrázků

Obr. 1: Zachycení nečistot při plošné filtraci	11
Obr. 2: Zachycení nečistot při hloubkové filtraci	11
Obr. 3: Litá cévní náhrada	14
Obr. 4: Pletený graft.....	15
Obr. 5: Kovový stent.....	16
Obr. 6: Plastový stent.....	16
Obr. 7: Stentgraft	16
Obr. 8: Dilatace stentgraftu.....	17
Obr. 9: Ukotvení stentgraftu v místě aortální výdutě	17
Obr. 10: Substanční průměr příze	20
Obr. 11: Efektivní průměr příze.....	21
Obr. 12: Zobrazení plátnového provázání	21
Obr. 13: Zobrazení flotážního provázání	22
Obr. 14: Fáze provázání dle Novikova	23
Obr. 15: Deformace tvaru příze vlivem provázání	24
Obr. 16: Žakárský stav na výrobu úzkých tkanin	25
Obr. 17: Barevná člunková záměna	26
Obr. 18: Plnozvedání- zápis vazby	26
Obr. 19: Vazná buňka tkaniny	29
Obr. 20: Princip fungování Micro CT	30
Obr. 21: Průběh křivky při jednoosém namáhání	31
Obr. 22: Referenční graft opatřený stentem.....	33
Obr. 23: Snímek Referenčního graftu.....	33
Obr. 24: Tahové křivky multifilů použitých pro experiment.....	35
Obr. 25: Navádění osnovy	37
Obr. 26: Pohled do prošlupu (za listy).....	37
Obr. 27: Hotová Tkanina č. 1 s chybějícími osnovními nitěmi.....	37
Obr. 28: Hotová Tkanina č. 2	39
Obr. 29: Hotová Tkanina č. 3	40
Obr. 30: Pohled na člunkovou záměnu.....	41
Obr. 31: Žakárový stroj na výrobu úzkých tkanin	41
Obr. 32: Bezešvá dutinná tkanina	41

Obr. 33: Našívání stentu na graft	49
Obr. 34: Postupné nafukování balónkového katétru.....	50
Obr. 35: Snímky otáčející se tkaniny,	53
Obr. 36: Snímky vnitřní struktury vzorku 7,5tex, 144f, T.....	54
Obr. 37: Průměrné tahové křivky namáhání po osnově.....	56
Obr. 38: Průměrné tahové křivky namáhání po útku.....	56
Obr. 39: Přístroj pro měření propustnosti	58
Obr. 40: Zařízení pro ohřev a rozvod vody	58
Obr. 41: Sestava zařízení pro měření propustnosti	58
Obr. 42: MTT test viability buněk na textilních membránách	61
Obr. 43: Vzorky testované pomocí fluorescenční mikroskopie	63
Obr. 44: Vzorek 10 tex, 36f, T 1. den kultivace	64
Obr. 45: Vzorek 10 tex, 36f, T 14. den kultivace	64

Seznam tabulek

Tabulka 1: Příčný a podélný řez Referenčním grafterem	33
Tabulka 2: Specifikace označení vzorků Tkaniny č. 1	42
Tabulka 3: Příčný a podélný řez Tkaninou č. 1	42
Tabulka 4: Specifikace vzorků Tkaniny č. 2	43
Tabulka 5: Příčný a podélný řez vzorky Tkaniny č. 2	43
Tabulka 6: Specifikace vzorků Tkaniny č. 3	45
Tabulka 7: Plošné snímky vzorků Tkaniny č. 3	45
Tabulka 8: Plošná hmotnost vzorků Tkaniny č. 1	46
Tabulka 9: Plošná hmotnost vzorků Tkaniny č. 2	46
Tabulka 10: Plošná hmotnost vzorků Tkaniny č. 3	47
Tabulka 11: Tloušťka vzorků Tkanina č. 1	48
Tabulka 12: Tloušťka vzorků Tkaniny č. 2	48
Tabulka 13: Tloušťka vzorků tkaniny č. 3	49
Tabulka 14: Plošné zakrytí Tkaniny č. 1 – průměrná hodnota a 95% IS	51
Tabulka 15: Plošné zakrytí Tkaniny č. 2 – průměrná hodnota a 95% IS	51
Tabulka 16: Plošné zakrytí Tkaniny č. 3 – průměrná hodnota a 95% IS	52
Tabulka 17: Objemová porosita vzorků Tkaniny č. 3	55
Tabulka 18: Hodnota propustnosti vzorků Tkaniny č. 1	59
Tabulka 19: Hodnota propustnosti vzorků Tkaniny č. 3	60

Seznam příloh

Příloha 1: Experimentálně zjištěná hmotnost vzorků Tkaniny č. 3	73
Příloha 2: Experimentálně zjištěná tloušťka vzorků Tkaniny č. 1	73
Příloha 3: Experimentálně zjištěná tloušťka vzorků Tkaniny č. 2	74
Příloha 4: Experimentálně zjištěná tloušťka vzorků Tkaniny č. 3	74
Příloha 5: Experimentálně zjištěná propustnost vzorků Tkaniny č. 3	75

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

Příloha 5: Experimentálně zjištěná hmotnost vzorků Tkaniny č. 3

Hmotnost [g] vzorků Tkanina č. 3						
n/vzorek	8,3 tex, 36f, P	7,5 tex, 72f, T	7,5 tex, 144f, T	10 tex, 36f, H	10 tex, 36f, T	10 tex, 96f, P
1	0,207	0,200	0,214	0,253	0,248	0,260
2	0,204	0,198	0,213	0,241	0,244	0,254
3	0,207	0,202	0,209	0,255	0,247	0,254
4	0,207	0,199	0,214	0,260	0,244	0,251
5	0,206	0,202	0,216	0,252	0,243	0,260
6	0,207	0,201	0,215	0,259	0,248	0,260
7	0,205	0,199	0,212	0,246	0,244	0,258
8	0,205	0,198	0,216	0,255	0,250	0,255
9	0,203	0,210	0,220	0,242	0,242	0,261
10	0,203	0,197	0,214	0,255	0,250	0,258
Průměr	0,205	0,201	0,214	0,252	0,246	0,257
Směr. odch.	0,002	0,004	0,003	0,006	0,003	0,003
Confidence	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002
95% IS DM	0,204	0,199	0,213	0,248	0,244	0,255
95% IS HM	0,206	0,203	0,216	0,256	0,248	0,259

Příloha 6: Experimentálně zjištěná tloušťka vzorků Tkaniny č. 1

Tloušťka [mm] vzorků Tkanina č. 1					
n/vzorek	Du 10	Du 12	Du 20	Du 25	Du 30
1	0,47	0,41	0,28	0,21	0,20
2	0,48	0,40	0,27	0,22	0,18
3	0,48	0,41	0,28	0,21	0,19
4	0,46	0,40	0,26	0,22	0,20
5	0,46	0,42	0,27	0,21	0,18
6	0,45	0,42	0,27	0,20	0,18
7	0,45	0,41	0,27	0,22	0,19
8	0,47	0,40	0,26	0,22	0,20
9	0,46	0,41	0,26	0,20	0,19
10	0,47	0,41	0,28	0,21	0,20
Průměr	0,465	0,409	0,270	0,212	0,191
Směr. odch.	0,010	0,007	0,008	0,007	0,008
Confidence	0,006	0,004	0,005	0,005	0,005
95% IS DM	0,459	0,405	0,265	0,207	0,186
95% IS HM	0,471	0,413	0,275	0,217	0,196

Příloha 7: Experimentálně zjištěná tloušťka vzorků Tkaniny č. 2

Tloušťka [mm] vzorků Tkanina č. 2							
n/vzorek	Du 30 T	Du 35 T	Du 30 H	Du 35 H	Du 35 P	Du 40 P	Du 45 P
1	0,22	0,22	0,18	0,15	0,21	0,20	0,20
2	0,21	0,21	0,18	0,15	0,21	0,20	0,21
3	0,20	0,22	0,17	0,16	0,21	0,20	0,19
4	0,22	0,22	0,17	0,14	0,21	0,20	0,20
5	0,22	0,22	0,18	0,15	0,20	0,19	0,20
6	0,21	0,22	0,18	0,16	0,21	0,20	0,21
7	0,20	0,23	0,17	0,15	0,21	0,20	0,19
8	0,21	0,22	0,17	0,14	0,22	0,19	0,20
9	0,22	0,22	0,18	0,15	0,21	0,20	0,21
10	0,22	0,22	0,18	0,15	0,21	0,20	0,20
Průměr	0,213	0,220	0,176	0,150	0,210	0,198	0,201
Směr. odch.	0,008	0,004	0,005	0,006	0,004	0,004	0,007
Confidence	0,005	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,004
95% IS DM	0,208	0,217	0,173	0,146	0,207	0,196	0,197
95% IS HM	0,218	0,223	0,179	0,154	0,213	0,200	0,205

Příloha 8: Experimentálně zjištěná tloušťka vzorků Tkaniny č. 3

Tloušťka [mm] vzorků Tkanina č. 3						
n/vzorek	8,3tex, 36f, P	7,5tex, 72f, T	7,5tex, 144f, T	10tex, 36f, H	10tex, 36f, T	10tex, 96f, P
1	0,16	0,17	0,17	0,20	0,21	0,18
2	0,16	0,17	0,17	0,20	0,21	0,18
3	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,19
4	0,15	0,18	0,17	0,20	0,21	0,19
5	0,16	0,18	0,17	0,19	0,20	0,18
6	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	0,18
7	0,16	0,17	0,17	0,20	0,21	0,19
8	0,15	0,17	0,18	0,19	0,22	0,18
9	0,16	0,17	0,17	0,20	0,21	0,19
10	0,16	0,17	0,17	0,20	0,21	0,18
Průměr	0,158	0,172	0,173	0,197	0,210	0,184
Směr. odch.	0,004	0,004	0,005	0,005	0,004	0,005
Confidence	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
95% IS DM	0,156	0,170	0,170	0,194	0,207	0,181
95% IS HM	0,160	0,174	0,176	0,200	0,213	0,187

Příloha 5: Experimentálně zjištěná propustnost vzorků Tkaniny č. 3

Propustnost [ml/cm ² /min] vzorků Tkanina č. 3						
n/vzorek	8,3tex, 36f, P	7,5tex, 72f, T	7,5tex, 144f, T	10tex, 36f, H	10tex, 36f, T	10tex, 96f, P
1	790,5	533,1	473,2	553,4	513,5	462,9
2	783,7	553,2	458,2	523,2	523,7	427,6
3	743,5	503,0	488,2	452,8	548,8	447,8
4	711,6	523,0	468,1	493,0	574,0	488,0
5	753,5	543,4	513,4	462,8	528,7	467,9
Průměr	756,6	531,1	480,2	497,0	537,7	458,8
Směr. odch.	28,6	24,9	19,2	37,4	21,4	20,2
Confidence	25,1	21,9	16,8	32,8	18,8	17,7
95% IS DM	731,5	509,3	463,4	464,2	518,9	441,1
95% IS HM	781,6	553,0	497,1	529,8	556,5	476,6